



**Paula Sofia Gil
Neto Quinteiro**

**Pegada de carbono de uma peça cerâmica de
faiança**



**Paula Sofia Gil
Neto Quinteiro**

**Pegada de carbono de uma peça cerâmica de
faiança**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Sistemas Energéticos Sustentáveis, realizada sob a orientação científica do Doutor António João de Melo Martins de Araújo, Assistente convidado do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro

Para ti... “Caminharás” sempre ao meu lado...

o júri

presidente

Prof. Doutor Joaquim José Borges Gouveia

professor catedrático do departamento de Economia, Gestão e Engenharia Industrial da Universidade de Aveiro

Prof. Doutor Luís Manuel Guerreiro Alves Arroja

professor associado do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro

Prof. Doutor António João de Melo Martins de Araújo

assistente convidado do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro

agradecimentos

Em poucas palavras, o meu infindável agradecimento:

Ao Doutor António Araújo, meu orientador, o meu mais sincero obrigado, pela dedicação, empenho, crítica, paciência, e por alguns momentos que permanecerão no meu baú de recordações... Mais do que orientador foi e é um amigo, na verdadeira essência da palavra...

Ao professor Doutor Nelson Martins pela disponibilidade e atenção demonstrada.

À Faianças J. Barreiro, Lda., pelo empenho em facultar todos os dados solicitados e pela permissão, sem qualquer entrave, no acompanhamento e monitorização do processo produtivo. Um particular agradecimento à D. Maria Isabel Barreiro e ao Eng. Nelson Barreiro.

Ao Hugo Calisto, pela inquestionável amizade, pelas oportunas palavras e certeza de que estará sempre ao meu lado.

Ao “trio” Bruno Lamas, Luís Pedro Amaral e Luís Sousa, pela companhia, tolerância e pelos hilariantes momentos proporcionados.

À Cátia e à minha irmã, pelo carinho e lealdade.

Aos meus pais, Marcial e Isabel, por fazerem de mim a pessoa que sou hoje...

palavras-chave

Pegada de carbono, desenvolvimento sustentável, faiança, peça cerâmica, eficiência energética.

resumo

A dinâmica humana exerce uma significativa influência no meio ambiente, sendo de particular acuidade, no que concerne ao efeito de estufa e ao consumo de energia, analisar o sector industrial.

No contexto industrial, as questões relacionadas com a emissão de gases com efeito de estufa (GEE) e com as necessidades energéticas adquirem maior relevância na perscrutação do desenvolvimento sustentável. Neste sentido, desenvolvem e testam-se diversas metodologias para a elaboração de uma norma internacional para a quantificação da pegada de carbono de produtos, ou seja, para quantificar as emissões de dióxido de carbono (CO₂) e de outros GEE ao longo do ciclo de vida do produto. À data da realização deste trabalho, está disponível para aplicação a projectos-piloto o método PAS 2050:2008 – especificações para a avaliação das emissões de GEE de bens e serviços ao longo do seu ciclo de vida.

O presente trabalho propõe-se a quantificar a pegada de carbono de uma peça cerâmica de ornamentação de faiança, mediante as directrizes da metodologia PAS 2050:2008, alicerçada nas ISO 14040:2006 e 14044:2006 e com o apoio do software de análise de ciclo de vida GaBi 4.3. Esta quantificação permite a identificação de locais/pontos onde se registam picos de consumos de energia e/ou de emissões de GEE (*hotspots*) e onde podem ser implementadas medidas de eficiência energética.

Para a determinação das emissões de CO₂ equivalente e consumos energéticos relativos ao fabrico da peça cerâmica, aplica-se uma metodologia, em que são necessários os valores dos consumos mensais de gás natural e energia eléctrica, o correspondente número e massa de peças produzidas, relativas ao ano produtivo de 2008, e também a realização de ensaios aos fornos de chacota e vidrado. As emissões de CO_{2e} e consumos de energia são calculados através da massa final e volume ocupado pela peça.

Determina-se, assim, a pegada de carbono da peça cerâmica – 1,4 kg de CO_{2e}. Este valor é passível de comunicação ao cliente mediante a aplicação da etiqueta de carbono na peça.

Quanto aos *hotspots* identificados, conclui-se que uma eventual alteração da curva de cozedura de chacota (redução do tempo de cozedura) conduziria a um decréscimo no consumo de gás natural de 2 % face ao valor determinado de 1,391 kWh, aquando a quantificação da pegada de carbono da peça.

keywords

Carbon footprint, sustainable development, earthenware, ceramic piece, energy efficiency.

abstract

Human activity has a significant influence on the environment, especially as far as greenhouse effect and energy consumption are concerned, rendering an analysis of the industrial sector particularly relevant.

In the industrial context, the relevance of issues related with greenhouse gases (GHG) emissions and energy requirements is enhanced from a sustainable development point of view. Several methodologies are thus being developed and tested in order to establish an international standard for product carbon footprint quantification, *i.e.* the overall amounts of carbon dioxide (CO₂) and other GHG emissions associated with a product along its life cycle.

At the time of writing, specification PAS 2050:2008 – specifications for the assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services – is publicly available for project-pilot application purposes.

In this study, the carbon footprint of a pottery earthenware piece is quantified within the framework of PAS 2050:2008, which in turn is based on ISO 14040:2006 and ISO 14044:2006, Gabi 4.3 life cycle software system being used for carbon footprint calculations. This analysis enables the identification of hotspots (points where peak energy consumption and/or GHG emissions occur) where energy efficiency measures should be implemented.

A methodology for the calculation of equivalent CO₂ emissions and energy consumption during the course of ceramic piece manufacture was applied, using various inputs, such as monthly natural gas and electricity consumptions, corresponding yearly production values for 2008 (both in terms of number and mass of pieces), as well as the energy consumption in tests of the earthenware clay and glaze kilns. The final mass and volume of a given piece were also used for calculation purposes.

The carbon footprint of the ceramic piece under study was thus determined to be 1,4 of CO_{2e}. This figure is liable to be communicated to the customer by means of a carbon label on the piece. Regarding the identified hotspots, it was concluded that a reduction in firing cycle times would lead to a decrease in natural gas consumption of 2 % from the determined value of 1,391 kWh when the piece carbon footprint quantification was carried out.

Índice

ÍNDICE DE FIGURAS	XIII
ÍNDICE DE TABELAS	XV
LISTA DE ACRÓNIMOS.....	XVII
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Objectivos e contribuição da dissertação	1
1.2. Estrutura da dissertação.....	2
2. ENERGIA E ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS	4
2.1. Contextualização	4
2.2. Desenvolvimento sustentável	4
2.3. Consumo de energia no mundo	6
2.4. Eficiência energética na indústria portuguesa.....	8
2.5. Alterações climáticas	9
2.5.1. Efeito de estufa	9
2.5.2. Emissões de CO ₂ em Portugal	10
2.6. Caracterização do sector cerâmico português	11
2.6.1. Emissões de CO ₂ na faiança	13
3. ESTRATÉGIAS PARA COLMATAR AS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS.....	15
3.1. O Protocolo de Quioto e o seu cumprimento nacional.....	15
3.2. Comércio Europeu de Licenças de Emissão de GEE (CELE)	16
3.2.1. Instalações abrangidas pelo CELE	17
3.2.2. O mercado das licenças de CO ₂	18
3.3. O acordo de Copenhaga	19
4. AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA (ACV)	20
4.1. Gestão Integrada do Produto	20
4.2. Metodologia da Avaliação do Ciclo de Vida	21
4.2.1. Definição do objectivo e do âmbito	22

4.2.2. Inventário do Ciclo de Vida (ICV).....	23
4.2.3. Avaliação de Impacte do Ciclo de Vida (AICV).....	24
4.2.4. Interpretação da ACV.....	25
4.3. Rótulo ecológico europeu	25
4.3.1. O rótulo ecológico e a pegada de carbono	27
5. METODOLOGIAS PARA QUANTIFICAR A PEGADA DE CARBONO.....	29
5.1. Pegada de carbono de uma organização	29
5.2. Pegada de carbono de um produto.....	31
5.2.1. Enquadramento	31
5.2.2. O projecto PCF para a quantificação da pegada de carbono	32
5.2.3. Abordagens para criar normas internacionais	35
5.3. Casos de estudo que contribuíram para a elaboração da metodologia	
PAS 2050:2008.....	36
5.4. Metodologia PAS 2050:2008	39
5.4.1. Definição do objectivo	41
5.4.2. Unidade funcional	42
5.4.3. Fronteira do sistema	42
5.4.3.1. Matérias-primas	43
5.4.3.2. Energia.....	43
5.4.3.3. Processo produtivo e funcionamento das instalações	44
5.4.3.4. Transporte	44
5.4.3.5. Armazenamento	44
5.4.3.6. Fase de utilização	45
5.4.3.7. Reciclagem do produto.....	45
5.4.3.8. Deposição final	46
5.4.4. Cálculo da pegada de carbono do produto	47
5.4.4.1. Árvore de processo	48
5.4.4.2. Fronteira do sistema e áreas prioritárias	48
5.4.4.3. Recolha de dados	48
5.4.4.4. Cálculo	49
5.4.4.4.1. <i>Cálculo do impacte médio ponderado de emissões GEE resultantes</i>	
<i>da fase de utilização e de deposição final a médio-longo prazo</i>	<i>49</i>
5.4.4.5. Incerteza dos resultados (opcional)	50
5.5. Comunicação da pegada de carbono do produto.....	51
5.6. A norma ISO 14044:2006 versus PAS 2050:2008	51
5.7. Software para ACV	54

6. CASO DE ESTUDO	56
6.1. Caracterização da empresa	56
6.1.1. Consumos de energia primária.....	56
6.1.2. Consumo específico de energia (CEE)	57
6.1.3. Processo produtivo.....	58
6.1.3.1. Preparação da barbotina.....	59
6.1.3.2. Conformação por enchimento	59
6.1.3.3. Secagem de couro	60
6.1.3.4. Acabamento	61
6.1.3.5. Secagem de branco	61
6.1.3.6. Cozedura de chacota (1ª cozedura)	61
6.1.3.7. Escolha de chacota	62
6.1.3.8. Vidragem	63
6.1.3.9. Cozedura do vidrado	63
6.1.3.10. Escolha e embalagem	64
6.1.3.11. Preparação do molde	64
6.1.3.12. Estação de tratamento de águas residuais (ETAR)	64
6.2. Pegada de carbono do produto B2C.....	65
6.2.1. Produto seleccionado e definição do objectivo.....	65
6.2.2. Unidade funcional	65
6.2.3. Fronteira do sistema	66
6.2.4. Árvore de processo.....	69
6.2.5. Metodologia para o ciclo produtivo – Consumos energéticos e emissões do processo produtivo	69
6.2.5.1. Produção corrigida	70
6.2.5.2. Consumo de energia eléctrica	73
6.2.5.3. Consumo de gás natural	74
6.2.5.4. Análise de emissões de CO _{2e} do processo produtivo	77
6.2.6. Desagregação de consumos de energia eléctrica e emissões de CO _{2e}	78
6.2.6.1. Preparação da barbotina e consumos energéticos	78
6.2.6.1.1. Composição da barbotina para a produção da peça	78
6.2.6.1.2. Quantidade de matéria-prima a acondicionar em armazém.....	79
6.2.6.1.3. Consumos energéticos	82
6.2.6.2. Caldeira de condensação	83
6.2.6.2.1. Energia eléctrica	83
6.2.6.2.2. Volume de água	84
6.2.6.3. Consumo no acabamento e na vidragem	85
6.2.6.4. Consumo dos ventiladores na cozedura de chacota e vidrado	85

6.2.6.5. Consumo nas etapas de embalagem da peça e preparação do molde	86
6.2.6.6. Consumos desagregados de energia eléctrica na produção da peça.....	86
6.2.6.7. Consumo fixo de energia.....	87
6.2.7. Produção de vidro	88
6.2.8. Produção de embalagem	88
6.2.9. Preparação do molde.....	89
6.2.10. Emissões de CO ₂ resultantes dos carbonatos	91
6.2.11. Recolha de dados – transporte	93
6.2.12. Discussão de resultados	94
6.2.12.1. Pegada de carbono da peça cerâmica	95
6.2.12.2. Comunicação da pegada de carbono da peça ao cliente final	96
6.2.12.3. Análise de pontos fracos – identificação de <i>hotspots</i>	97
6.2.12.4. Emissões de reciclagem do produto.....	100
6.2.12.5. Consumos energéticos	100
6.2.12.6. Identificação de oportunidades de eficiência energética.....	103
7. CONCLUSÕES.....	106
7.1. Quantificação da pegada de carbono	107
7.2. Desenvolvimentos futuros.....	111
8. REFERÊNCIAS	112
ANEXO A – DADOS PRIMÁRIOS DA EMPRESA	119
ANEXO B – PREPARAÇÃO DE BARBOTINA	120
ANEXO C – BALANÇO DE ENERGIA À CALDEIRA DE CONDENSAÇÃO.....	123
C.1. Balanço mássico.....	123
C.1.2. Composição ponderal elementar do gás natural	123
C.1.3. Composição do ar de combustão.....	124
C.1.4. Excesso de ar (Z)	125
C.1.4.1. Necessidades estequiométricas de O ₂ , W_s	125
C.1.4.2. Composição dos produtos gasosos, n_{LG}	126
C.2. Balanço energético	127
C.2.1. Reagentes	127
C.2.1.1. Calor sensível inerente à mistura ar/gás natural, $\Delta H_{s,G}$	127
C.2.1.2. Calor de reacção de combustão do combustível, $\Delta H_{s,r}$	128
C.2.2. Produtos	128

C.2.2.1. Calor sensível dos gases de combustão, $\Delta H_{s,p,G}$	128
C.2.2.2. Calor latente dos gases de combustão, $\Delta H_{l,G}$	129
C.2.2.3. Perdas de calor através das paredes, $\Delta H_{perdido}$	130
C.3. Resultados do balanço de energia	131
C.4. Eficiência de conversão na caldeira (η)	131
C.5. Cálculo do volume de água que circula no enchimento para a conformação peça cerâmica (V_{H_2O})	131
 ANEXO D – MONITORIZAÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉCTRICA	
NUMA COZEDURA DE VIDRADO	134
 ANEXO E – PLANOS ELABORADOS NO GABI 4.3	135

Índice de Figuras

Fig. 1. Dimensão ambiental, económica e social do desenvolvimento sustentável [5]	6
Fig. 2. Evolução, a nível mundial, do consumo interno bruto de energia [8].....	7
Fig. 3. Evolução do consumo de energia final de Portugal, para cada sector de actividade [8]	7
Fig. 4. Evolução de emissões de CO ₂ por sector de actividade para Portugal [8]	11
Fig. 5. Evolução do número de empresas por subsector da indústria cerâmica [16].....	12
Fig. 6. Evolução da produção de faiança e correspondentes emissões específicas de CO ₂ [11] ..	14
Fig. 7. Oscilação do preço médio de fecho de EUA e de CER, segundo a SendeCO ₂ [24]	18
Fig. 8. Política Integrada do Produto [11]	20
Fig. 9. Ciclo de vida de um produto cerâmico [11]	21
Fig. 10. Rótulo ecológico europeu [35]	26
Fig. 11. Rótulo <i>Certified CarbonFree</i> TM atribuído ao açúcar produzido pela Florida Crystals [42] 28	
Fig. 12. Âmbitos e as actividades das quais resultam emissões ao longo da cadeia de valor da organização [44]	30
Fig. 13. Pegada de carbono (melhor cenário) [54]	34
Fig. 14. Pegada de carbono (pior cenário) [54]	34
Fig. 15. Desenvolvimentos para criar normas internacionais para a quantificação da pegada de carbono [55]	36
Fig. 16. Pegada de carbono do champô Botanics [56].....	37
Fig. 17. Pegada de carbono do champô Botanics, considerando a fase de utilização [56]	38
Fig. 18. Pegada de carbono de um pacote de batatas fritas [57]	38
Fig. 19. Passos para calcular a pegada de carbono do produto [58].....	47
Fig. 20. Estrutura dos consumos relativos à energia primária para os anos de 2007 e 2008	56
Fig. 21. Evolução da produção face ao consumo de energia primária para o ano de 2007	57
Fig. 22. Evolução da produção face ao consumo de energia primária para o ano de 2008	57
Fig. 23. Representação esquemática do processo produtivo	58
Fig. 24. Preparação da barbotina: a) matérias-primas, b) silo, c) peneiro, d) tanque de homogeneização	59
Fig. 25. Preparação da barbotina: a) formação da parede, b) vazamento do excesso de barbotina	60
Fig. 26. Desmoldagem	60
Fig. 27. Acabamento: a) rebarbagem, b) esponjagem	61
Fig. 28. Cozedura de chacota	61
Fig. 29. Vidragem por mergulho	63
Fig. 30. Cozedura do vidrado	63
Fig. 31. Escolha e embalagem: a) etiquetagem, b) embalagem	64
Fig. 32. Objecto de estudo, peça cerâmica, para o cálculo da pegada de carbono	65

Fig. 33. Fronteira do sistema em estudo	68
Fig. 34. Árvore de processo.....	71
Fig. 35. Consumo de energia eléctrica em função da produção “corrigida”.....	73
Fig. 36. Consumo de gás natural em função da massa de chacota “corrigida” cozida.....	75
Fig. 37. Consumo de gás natural “corrigido” em função do volume total de peças cozidas	76
Fig. 38. Composição da barbotina necessária para a conformação da peça	79
Fig. 39. Representação esquemática do sistema a que se realizou o balanço mássico	79
Fig. 40. Consumos desagregados do consumo de energia eléctrica para a produção da peça ...	87
Fig. 41. Consumo desagregado de energia eléctrica da iluminação da unidade fabril.....	88
Fig. 42. Pegada de carbono da peça cerâmica	96
Fig. 43. Etiqueta de carbono a aplicar na peça cerâmica estudada	97
Fig. 44. Contribuição de cada processo para a quantificação da pegada de carbono da peça	99
Fig. 45. Energia total consumida ao longo do ciclo de vida da peça	102
Fig. 46. Energia proveniente dos vários combustíveis utilizados no processo produtivo da peça	103
Fig. 47. Análise termo-gravimétrica (ATG) e Análise termo-diferencial (ATD) da barbotina	104
Fig. C. 1. Valores experimentais, referentes à caldeira de condensação, obtidos pelo analisador de gases	130
Fig. C. 2. Consumos de gás natural o dia 13 de Abril até ao dia 28 de Junho de 2009	132
Fig. D. 1. Consumo de energia eléctrica numa cozedura de vidrado	134
Fig. E. 1. Ciclo de vida da peça cerâmica	135
Fig. E. 2. Preparação da barbotina	137
Fig. E. 3. Preparação do molde	139

Índice de Tabelas

Tabela 1. Potencial e contribuição para o aquecimento global dos GEE contemplados no Protocolo de Quioto [11, 13]	10
Tabela 2. Benefícios da PAS 2050:2008 para as empresas e consumidores [58]	40
Tabela 3. Principais diferenças entre os vários produtos, segundo o guia PAS 2050:2008 [58] ...	40
Tabela 4. Principais diferenças entre a ISO 14044:2006 e o documento PAS 2050:2008.....	52
Tabela 5. Factores para quantificar a energia eléctrica consumida por peça cerâmica	74
Tabela 6. Factores para quantificar consumos energéticos de gás natural por peça cerâmica	77
Tabela 7. Consumos energéticos para o cálculo da pegada de carbono da peça cerâmica.....	78
Tabela 8. Emissões de CO _{2eG} para o cálculo da pegada de carbono da peça cerâmica	78
Tabela 9. Quantidade mássica da matéria-prima para a preparação da barbotina	81
Tabela 10. Emissões de GEE resultantes dos processos <i>cradle to gate</i> das matérias-primas	81
Tabela 11. Consumo de energia eléctrica para cada processo de preparação da barbotina necessária à produção da peça	83
Tabela 12. Energia consumida no processo <i>cradle to gate</i> de 1,3 kg de gesso cerâmico	90
Tabela 13. Emissões de GEE resultantes da produção de 1,3 kg de gesso cerâmico.....	91
Tabela 14. Factores de emissão estequiométricos, método A, para os carbonatos [11] [23]	92
Tabela 15. Quantidade mássica de CaCO ₃ presente na peça a chacoitar	93
Tabela 16. Emissões de CO ₂ de descarbonatação	93
Tabela 17. Distância percorrida e distinção do percurso efectuado	94
Tabela 18. Emissões de GEE resultantes da reintrodução da barbotina remanescente e caco (E _R) e da preparação da barbotina nova (E _V)	100
Tabela A. 1. Produção expedida, número de peças e facturas energéticas, para o ano de 2008	119
Tabela A. 2. Ensaio experimentais aos fornos, registo da massa, volume e consumo de gás natural	119
Tabela B. 1. Temperatura e densidade da água necessária para a preparação da barbotina	120
Tabela B. 2. Tipo e quantidade de combustíveis utilizados nos processos <i>cradle to gate</i> das matérias-primas	121
Tabela B. 3. Energia eléctrica consumida na preparação de um tanque de pasta	121
Tabela B. 4. Consumo médio mensal de energia eléctrica na iluminação	122
Tabela C. 1. Composição molar do gás natural distribuído à empresa.....	124
Tabela C. 2. Composição elementar ponderal (fracção mássica) CHNO do gás natural	124
Tabela C. 3. Necessidades estequiométricas de O ₂ (W _s), e necessidades actuais de O ₂ , (W _a) .	125
Tabela C. 4. Balanço de massa, isto é, composição dos produtos gasosos: CO ₂ , H ₂ O, N ₂ e O ₂	126

Tabela C. 5. Valores necessários ao cálculo do calor sensível dos reagentes (energia transportada pelo gás natural e pelo ar de combustão)	128
Tabela C. 6. Valores necessários ao cálculo do calor de reacção do gás natural	128
Tabela C. 7. Valores para o cálculo do $\Delta H_{s,p,G}$ e do $\Delta H_{l,G}$, respectivamente	129
Tabela C. 8. Resultados do balanço energético	131
Tabela C. 9. Caudal de água que circula na bancada para a conformação da peça (V_{H_2O})	133

Lista de Acrónimos

AICV	Avaliação de Impacte do Ciclo de Vida
AIE	Agência Internacional de Energia
ACV	Avaliação de Ciclo de Vida
ATD	Análise Termo-Diferencial
ATG	Análise Termo-Gravimétrica
AVAC	Aquecimento, ventilação e ar condicionado
B2B	Business-to-Business
B2C	Business-to-consumer
BSI	British Standards Institution
CAE	Classificação Portuguesa das Actividades Económicas
CEE	Consumo específico de energia
CELE	Comércio europeu de licenças de emissão
CER	Redução certificada de emissões
CML	Centre of Environmental Science
COP	Conferência das Partes
CREUE	Comité do Rótulo Ecológico da União Europeia
Defra	Department for Environment, Food and Rural Affairs
DGEG	Direcção Geral de Energia e Geologia
GEE	Gases com efeito de estufa (GHG - Greenhouse Gases)
GPL	Gás petrolífero liquefeito
EMAS	Sistema Comunitário de Ecogestão e Auditoria
ENE	Estratégia Nacional de Energia
EPD	Declaração Ambiental do Produto
ERU	Unidades de redução de emissões
ETAR	Estação de tratamento de águas residuais
EUA	Licenças de emissão
IBGE	Brussels Institute for environmental policy
FMI	Fundo Monetário Internacional
IC	Mecanismo de implementação conjunta
ICV	Inventário do Ciclo de Vida
INERPA	Inventário de Emissões Antropogénicas por Fontes e Remoção por Sumidouros de Poluentes Atmosféricos
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
ISO	International Standard Organization
LCA	Life Cycle Assessment
MDL	Mecanismo de desenvolvimento limpo

OMM	Organização Mundial de Meteorologia
ONU	Organização das Nações Unidas
PAG	Potencial de Aquecimento Global (GWP - Global warming potential)
PAS	Specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services
PCF	Product Carbon Footprint
PCIP	Prevenção e Controles Integrados da Poluição
PCR	Product Category Rule
PIP	Política Integrada do Produto
PME	Micro, pequenas e médias empresas
PNAEE	Plano Nacional de Acção para a eficiência Energética
PNAC	Plano Nacional para as alterações Climáticas
PNALE	Plano Nacional de Licenças de Emissão
PNUMA	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
PREn	Plano do Consumo de Energia
RGCE	Regulamento de Gestão de Consumo de Energia
SGCIE	Sistema de Gestão dos Consumos Intensivos de Energia
TC 207	Comité Técnico para a Gestão Ambiental
UE	União Europeia
UICN	União Internacional para a Conservação da Natureza
UNECE	Convenção sobre Poluição Atmosférica Transfronteira de Longo Alcance
UNFCCC	Convenção Quadro das Nações Unidas para as Alterações Climáticas
WBCSD	World Business Council for Sustainable Development
WRI	World Resources Institute
WWF	World Wide for Nature

1.Introdução

A actual estrutura energética, nomeadamente no sector industrial, assenta num modelo de consumo de combustíveis fósseis que é responsável pela emissão de gases com efeito estufa (GEE) e que incrementa o efeito de estufa à escala global.

Uma vez comprovado que a competitividade de uma organização depende de uma política de desenvolvimento sustentável assente nas vertentes económica, social e ambiental, e da perscrutação de uma norma internacional para a quantificação da pegada de carbono de produtos, transversal aos diversos sectores industriais e correspondentes produtos, têm vindo a ser desenvolvidas e testadas algumas metodologias. À presente data estão disponíveis para aplicação a projectos-piloto a metodologia PAS 2050:2008 – especificações para a avaliação das emissões de GEE de bens e serviços ao longo do seu ciclo de vida – e o guia PAS 2050:2008 – como avaliar a pegada de carbono de bens e serviços –, que apresenta um caso prático de quantificação de pegada de carbono. A metodologia PAS 2050:2008 baseia-se nas metodologias estabelecidas pelas ISO 14040:2006 e 14044:2006 e foi desenvolvida pelo Department for Environment, Food and Rural Affairs (Defra) e pelo Carbon Trust, em estreita colaboração e supervisão com o British Standards Institution (BSI). O cálculo da pegada de carbono de um produto permite quantificar as emissões de GEE que resultam directa e indirectamente do produto ao longo do seu ciclo de vida. O conceito “ciclo de vida” refere-se às actividades que ocorrem no decurso de vida do produto, do berço ao túmulo (*from cradle to grave*), isto é, desde a extracção das matérias-primas, passando pela produção, transporte, utilização pelo consumidor final, reutilização, reciclagem e/ou deposição final.

Em Portugal, o subsector da cerâmica utilitária e decorativa, que se dedica ao fabrico de artigos cerâmicos de ornamentação de faiança, tem vindo a ser dos mais afectados, quer pela retracção económica, quer pela forte competição dos novos concorrentes emergentes. Neste sentido, reconhece-se que a quantificação de pegada de carbono de uma peça cerâmica constitui uma relevante estratégia de marketing para evitar o declínio deste subsector, nomeadamente pela oportunidade de diferenciação de produto e/ou penetração de mercado. O reconhecimento de locais onde se registam elevados consumos energéticos e/ou emissões de GEE (*hotspots*), permite identificar medidas de eficiência energética e mitigação de GEE, tendo sempre presente a relação custo/benefício de cada medida.

1.1. Objectivos e contribuição da dissertação

A premência em desenvolver e implementar estratégias de sustentabilidade energética e ambiental e a tomada de consciência do consumidor final em adquirir produtos ambientalmente

sustentáveis constitui a força motriz para a realização desta dissertação. Tomaram-se como objectivos

- quantificar a pegada de carbono de uma peça cerâmica de ornamentação de faiança para posterior comunicação ao cliente final,
- identificar *hotspots*, locais onde se registam consideráveis consumos de energia e/ou picos de emissões de GEE e onde podem ser implementadas medidas de eficiência energética para mitigar as referidas emissões,

1.2. Estrutura da dissertação

Após uma breve introdução e relevância da temática abordada, procede-se, no capítulo 2, ao ponto de situação do consumo energético e emissões de dióxido de carbono (CO₂) a nível da União Europeia (UE) e em particular em Portugal. Identificam-se as principais linhas de acção para fomentar a competitividade industrial, explicitando o conceito de pegada de carbono. Referem-se, ainda, as consequências da crescente retenção de CO₂ e de outros GEE na atmosfera e caracteriza-se o sector cerâmico nacional.

O capítulo 3 refere as políticas e medidas internacionais, comunitárias e nacionais para colmatar as alterações climáticas resultantes das emissões de GEE.

Na perscrutação da sustentabilidade da indústria, foi desenvolvida uma Política Integrada do Produto (PIP) que considerava numa das suas vertentes a Avaliação de Ciclo de Vida (ACV). Neste sentido, o capítulo 4 apresenta a metodologia ACV, suportada pelas ISO 14040:2006 – *Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework* e 14044:2006 – *Life Cycle Assessment: Requirements and Guidelines*. É, ainda, abordada a directriz de investigação para enquadrar a pegada de carbono no rótulo ecológico europeu.

O sector industrial reconhece nas metodologias para determinar a pegada de carbono de uma organização um meio de inventariar e comunicar as suas emissões de GEE, quer para cumprimento de legislação ambiental, quer para adesão ao Comércio Europeu de Licenças de Emissão (CELE). Já no intuito de traçar e apoiar estratégias de penetração de mercado e de fidelização de clientes e de permitir a identificação de *hotspots* e de medidas que conduzam ao incremento de eficiência energética, têm vindo a ser desenvolvidas metodologias para a quantificação da pegada de carbono de produtos. O capítulo 5 aborda as referidas metodologias.

No capítulo 6 é abordado o caso de estudo. Numa primeira fase é caracterizada a empresa Faianças J. Barreiro, Lda. que produz a peça seleccionada e explicitado o respectivo processo produtivo, quantificando-se, de seguida, a pegada de carbono da peça segundo as directrizes da metodologia PAS 2050:2008 alicerçada nas normas ISO abordadas no capítulo 4 e com o auxílio

do software de análise de ciclo de vida GaBi 4.3. O presente capítulo engloba, ainda, a discussão dos resultados obtidos.

Por fim, no capítulo 7 são apresentadas as conclusões e algumas sugestões para trabalhos futuros da presente dissertação.

2. Energia e alterações climáticas

2.1. Contextualização

A partir de finais do século XVIII verificou-se em Inglaterra um conjunto de fenómenos técnicos, económicos e sociais que transformaram a sociedade inglesa na primeira sociedade industrial do mundo. Devido a melhorias de alimentação, de condições de higiene e a alguns progressos da medicina, nomeadamente pela descoberta da primeira vacina contra a varíola, pelo médico inglês Edward Jenner, registou-se um crescimento e rejuvenescimento da população, assistindo-se, assim, a uma revolução demográfica. No século em questão, a Europa viu a sua população aumentar de 120 para 200 milhões de habitantes. Em 1800, Portugal contava com cerca de 3 milhões de habitantes face aos poucos 2 milhões contabilizados no início do século XVIII [1].

Na origem da Revolução Industrial está a referida revolução demográfica, as inovações agrícolas que provocaram a constante migração do Homem do campo para a cidade e o avanço do desenvolvimento científico, nomeadamente a invenção da máquina de vapor por James Watt. Pela primeira vez foi possível produzir energia mecânica através de energia térmica. As fábricas de algodão foram as primeiras unidades industriais que utilizaram e generalizaram, com sucesso, a máquina a vapor no processo de produção, seguindo-se a indústria metalúrgica. As unidades fabris eram edifícios com altas chaminés que emitiam, continuamente, um penacho negro (dióxido de enxofre (SO_2), óxidos de azoto (NO_x) e dióxido de carbono (CO_2)) resultante da combustão do carvão, extremamente ruidosos e em que o produto não conforme se amontoava sem qualquer critério. Assistia-se, para além do desenvolvimento de instrumentos tecnológicos aplicados à produção, a um aumento exponencial de produtividade no trabalho, a novos comportamentos sociais, a novos modelos políticos, a uma nova visão do mundo e à divisão das sociedades em duas classes sociais: a burguesia capitalista e o proletariado. A partir do século XIX a revolução prolifera pelo mundo e surge pela primeira vez o conceito poluição. O consumo de energia primária disparou, a concentração de CO_2 na atmosfera aumentou e, consequentemente, o equilíbrio térmico começou a ser alterado, isto é, na atmosfera era retida energia térmica para além do que seria desejável.

2.2. Desenvolvimento sustentável

Segundo a revisão de 2008 das projecções e estimativas oficiais da população mundial efectuada pela Divisão de População do Departamento de Assuntos Económicos e Sociais de Secretariado das Nações Unidas, a população mundial está projectada para atingir 7 biliões no final do ano de 2011 e ultrapassar os 9 biliões de pessoas em 2050 [2]. Este crescimento demográfico acarreta

enormes necessidades energéticas. Designadamente, a China e a Índia enfrentam um paradigma de crescimento, precisam e querem crescer, mas mantêm-se relutantes quanto às preocupações ambientais e sem qualquer organização ao nível do desenvolvimento sustentável. Na verdade as preocupações ambientais surgem na agenda internacional em 1972 na conferência de Estocolmo, mas somente em 1980 é publicada a Estratégia Mundial para a Conservação pela União Internacional para a Conservação da Natureza (UICN) onde é referido, pela primeira vez, o conceito de desenvolvimento sustentável. Em 1987, o relatório Brundtland define como sustentabilidade *“a capacidade de satisfazer as necessidades das gerações actuais sem comprometer as possibilidades das gerações futuras”* [3] e defende um desenvolvimento com preocupações ambientais, assumidas como compromisso internacional na Conferência do Rio de Janeiro em 1992. Esta foi a primeira negociação a nível mundial em que foi discutida a importância das reformas dos sistemas energéticos de modo a considerar a sua dimensão ambiental.

Assim, o conceito de desenvolvimento sustentável considera três dimensões: a económica, a social e a ambiental que se relacionam entre si segundo o modelo de Sadler e Jacobs [4], como ilustrado na figura 1, com o intuito de reduzir o consumo dos recursos naturais finitos mantendo a competitividade económica e a coesão social. Deste modelo surgiu o triângulo equilátero de Sadler e Jacobs que pretende representar a importância equitativa da competitividade, inovação, globalização da economia, energia, ambiente e sustentabilidade, e da ética e filantropia. A comunidade internacional toma consciência da insustentabilidade ambiental que compromete a qualidade de vida das gerações futuras. Os efeitos da poluição atmosférica registam-se a diferentes escalas: à escala global, o incremento do efeito de estufa e a depleção da camada de ozono; à mesoescala, as chuvas ácidas e a eutrofização; à escala transfronteiriça, a poluição fotoquímica e à escala local os *“hotspots”* (locais onde as emissões provenientes de fontes específicas podem expor a população a riscos elevados de efeitos adversos para a saúde) em áreas urbanas.

Seria desejável que a consciencialização ambiental e energética do sector industrial fosse a força motriz que conduzisse a eficiência energética nacional, ou seja, idealmente o sector industrial deveria ser capaz, por si mesmo, de pretender otimizar o seu desempenho energético e, consequentemente, económico, social e ambiental. Na realidade é necessário o envolvimento de todos para investir, investigar, desenvolver, gerar competências e criar alternativas suficientemente capazes de permitir que a Humanidade possa continuar a evoluir, sem recorrer ao consumo desregrado de combustíveis fósseis, tendo como suporte uma política legislativa forte e adequada.

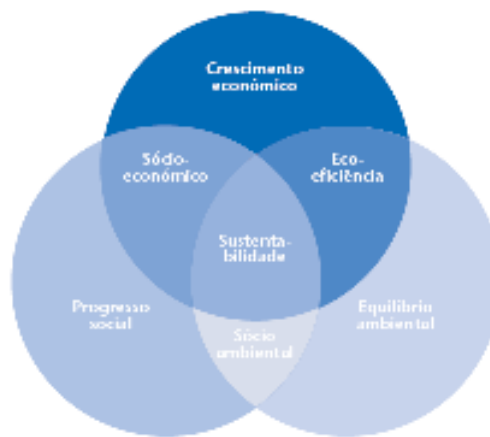


Fig. 1. Dimensão ambiental, económica e social do desenvolvimento sustentável [5].

2.3. Consumo de energia no mundo

Identificam-se três linhas de acção primordiais para diminuir a dependência energética e fomentar a competitividade da indústria:

1. a melhoria da eficiência energética;
2. a indução de energias renováveis;
3. a redução da pegada de carbono.

A pegada de carbono (*carbon footprint*) consiste na quantificação das emissões de CO₂ e de outros GEE considerados no protocolo de Quioto que resultam directa e indirectamente de uma pessoa, organização ou produto [6]. Existem dois tipos de pegada de carbono [6]:

1. da organização – emissões resultantes de todas as actividades da organização, incluindo o consumo energético nos edifícios, processos industriais e veículos da empresa;
2. do produto – emissões ao longo de toda a vida de um produto, desde a extracção das matérias-primas, passando pelo processo produtivo até à sua utilização final e reutilização, reciclagem e/ou deposição final.

Entenda-se como energia primária, “*energia que pode ser utilizada directamente ou que vai ser sujeita a transformação, incluindo a energia utilizada nos processos de transformação e as perdas inerentes a esses processos*” e energia final, “*energia que é utilizada directamente pelo utilizador, já excluída da energia utilizada nos processos de transformação e das perdas inerentes a esses processos*” [7]. Para efeitos de contabilidade energética, os consumos de todas as formas de energia são convertidas, normalmente, para a unidade tonelada equivalente de petróleo (tep) que, como o nome indica, é o conteúdo energético de uma tonelada de petróleo indiferenciado.

A figura 2 representa a evolução do consumo interno bruto de energia nos países com maior expressão energética mundial tendo como referência o índice 1990=1 [8]. De uma forma global, o consumo interno bruto de energia tem vindo a aumentar, exceptuando o Brasil, e com particular incidência na Coreia. Denota-se que a China, país em desenvolvimento de acordo com o Fundo Monetário Internacional (FMI), apresentou um incremento no consumo energético a partir de 2001 [9].

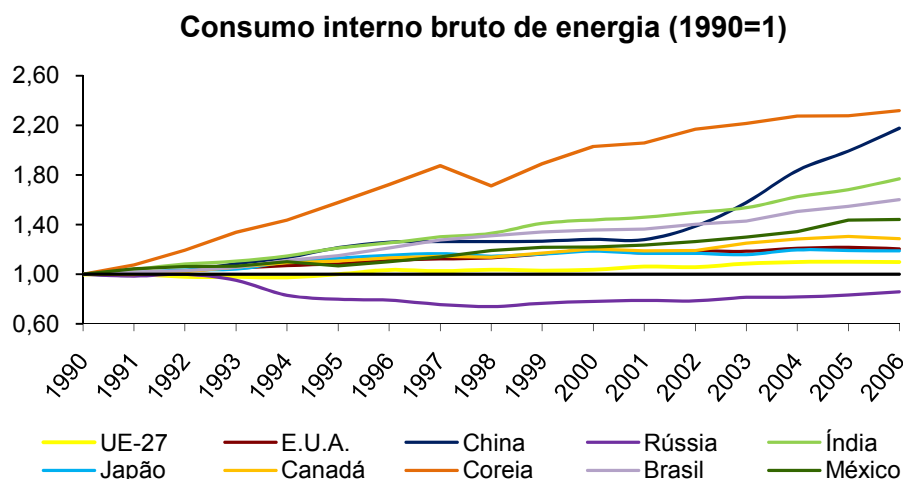


Fig. 2. Evolução, a nível mundial, do consumo interno bruto de energia [8].

A figura 3 demonstra a evolução do consumo de energia final para Portugal e por sector de actividade. Ao longo dos anos, denota-se um acréscimo no consumo de energia final no sector dos transportes, tendo-se tornado a partir de 1999 o sector que acarretava maiores consumos energéticos. No que concerne à Indústria, atingiu, em 2004, um máximo de consumo de energia final de 7,23 Mtep, tendo no subsequente ano diminuído para 5,69 Mtep, valor este que permaneceu inalterado em 2006.

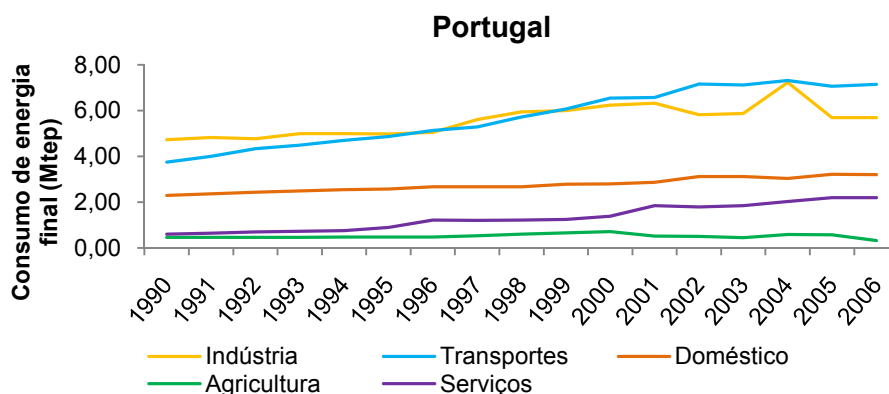


Fig. 3. Evolução do consumo de energia final de Portugal, para cada sector de actividade [8].

2.4. Eficiência energética na indústria portuguesa

A laboração industrial insere-se na classe de consumidores intensivos de energia, assim como faz parte do principal grupo de fontes geradoras de poluição antropogénica. A poluição é devida maioritariamente a produtos utilizados e resultantes dos processos de exploração, transformação e/ou produção, que geram elementos e compostos nocivos, nas formas gasosa, líquida e sólida.

No contexto da indústria, as questões relacionadas com as enormes necessidades energéticas e com a poluição adquirem maior relevância, quer por razões económicas, por obrigatoriedade do cumprimento legal, quer pela perigosidade para a saúde pública e local e pela extensão da área de influência. Se no passado, a indústria se norteava pela capacidade de produção e a obtenção de lucros, com base em critérios essencialmente económicos, hoje em dia, para garantir a competitividade das organizações, é imperativo um desenvolvimento industrial sustentado nas vertentes económicas, sociais e ambientais.

A Resolução do Conselho de Ministros n.º 169/2005, de 24 de Outubro, aprovou a Estratégia Nacional para a Energia, prevendo uma linha de orientação para a eficiência energética com a aceitação do Plano Nacional de Acção para a Eficiência Energética (PNAEE: 2008-2015).

A Directiva n.º 2006/32/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 5 de Abril, estabelece a obrigação de um PNAEE com a meta de 1 % de poupança de energia por ano até 2016, o que se traduz numa diminuição do consumo de energia em cerca de 1,3 milhões de tep até 2015. O PNAEE ou Portugal Eficiência 2015 (Resolução do Conselho de Ministros n.º 80/2008, de 20 de Maio) engloba um conjunto de programas e medidas para que o país possa alcançar e suplantar os objectivos fixados na directiva acima referida, ou seja, a redução de 10 % do consumo de energia final até 2015, articulando-se com o Plano Nacional para as alterações Climáticas (PNAC), aprovado pela Resolução de Conselho de Ministros n.º 119/2004, de 31 de Julho, e revisto pela Resolução do Conselho de Ministros n.º 104/2006, de 23 de Agosto. No PNAEE, a área indústria é abrangida por um programa designado Sistema de Eficiência Energética na Indústria, que inclui a substituição do Regulamento de Gestão de Consumo de Energia (RGCE: Decreto-Lei n.º 58/82, de 26 de Fevereiro) por um novo regulamento, denominado Sistema de Gestão dos Consumos Intensivos de Energia (SGCIE). Este programa detém como objectivo, promover o aumento de eficiência energética por via da modificação dos processos de fabrico, da introdução de novas tecnologias e de mudança de comportamentos, obtendo-se uma redução em 10 % da intensidade energética. O SGCIE impõe auditorias energéticas obrigatórias, com inclusão de um Plano do Consumo de Energia (PREn), relatórios de execução e progresso bianuais a empresas com um consumo

- superior a 1000 tep/ano, num período de 6 anos,
- superior a 500 tep/ano, num período de 8 anos,

-
- inferior a 500 tep/ano, com adesão voluntária.

A resolução do Conselho de Ministros n.º 29/2010, de 15 de Abril, aprovou a Estratégia Nacional de Energia 2020 (ENE 2020) em que, para além da aposta nas energias renováveis e da garantia da segurança de abastecimento, foram reforçadas

- a promoção da eficiência energética, mediante a consolidação do objectivo de redução de 10 % do consumo de energia final até 2015, contemplada no PNAEE,
- a perscrutação da sustentabilidade da estratégia energética, fomentando a redução de emissões de GEE atendendo à viabilidade económica de eventuais medidas a aplicar e os seus subsequentes benefícios [10].

2.5. Alterações climáticas

2.5.1. Efeito de estufa

Os gases com efeito de estufa (GEE) são os constituintes gasosos da atmosfera, tanto naturais como antropogénicos que absorvem e emitem radiação a comprimentos de onda específicos no espectro de radiação infravermelha (IV) emitida pela superfície terrestre, atmosfera e nuvens. A retenção da parte da radiação IV na troposfera dá origem ao denominado efeito de estufa, tornando possível a vida na Terra [11]. O incremento da queima de combustíveis fósseis a partir da revolução industrial conduziu a um aumento da concentração de CO₂ na atmosfera de aproximadamente 30 % [11]. O relatório apresentado pelo Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) confirma que o aquecimento global é um facto inequívoco, sendo evidente no aumento da temperatura média do ar e dos oceanos, na fusão generalizada da neve e gelo e na subida do nível médio do mar [12]. O conceito de potencial de aquecimento global (PAG) foi desenvolvido para comparar a capacidade de cada gás enquanto GEE, sendo o CO₂ o gás de referência. A tabela 1 apresenta os factores de caracterização do PAG para os gases contemplados no Protocolo de Quioto, tendo por base um tempo médio de permanência na atmosfera de 100 anos [12] e a contribuição da cada GEE para o aquecimento global.

Tabela 1. Potencial e contribuição para o aquecimento global dos GEE contemplados no Protocolo de Quioto [11, 13].

GEE	PAG	Contribuição para o aquecimento global (%)
CO ₂	1	60
CH ₄	25	20
N ₂ O	298	6
HFC	124 – 14800	14
PFC	7390 – 12200	14
SF ₆	22800	14

2.5.2. Emissões de CO₂ em Portugal

As emissões de CO₂ estão intrinsecamente ligadas ao consumo energético, sendo que a figura 4 demonstra a evolução das emissões de CO₂ para Portugal e por sector de actividade, tendo como índice de referência 1990=1. Evidencia-se até 2005 um acentuado incremento de emissões de CO₂ no sector de serviços. A diminuição de 2005 (índice de 4,60) para 2006 (índice de 3,19) dever-se-á à redução do consumo de gasóleo para os processos de combustão no sector dos serviços, o que poderá ser, eventualmente, resultado do Inverno ameno que se fez sentir em 2006. Também as emissões provenientes dos transportes aumentaram até 2002, período a partir do qual o índice tem estabilizado.

O sector industrial está desagregado em dois subsectores:

- de produção de energia (Indústria energia, figura 4) que contempla as refinarias de petróleo, a produção pública de electricidade e calor e outras indústrias energéticas;
- que engloba a indústria cerâmica, de construção, a metalúrgica, a indústria química, de pasta e de papel, alimentar, e outras indústrias (indústria, figura 4).

No que concerne à indústria, o índice diminuiu de 17,1 em 2004 para 16,2 em 2006, provavelmente devido à implementação de medidas de eficiência energética e da entrada em vigor do Plano Nacional das Alterações Climáticas (PNAC), que detinha como um dos objectivos identificar um conjunto de medidas e instrumentos para controlo e redução das emissões de GEE, atendendo a critérios de eficácia ambiental, económica e social.

O sector de actividade – outros – engloba as emissões da queima de combustíveis na agricultura, na silvicultura e nas pescas, e as emissões evaporativas de combustíveis, de solventes, etc.

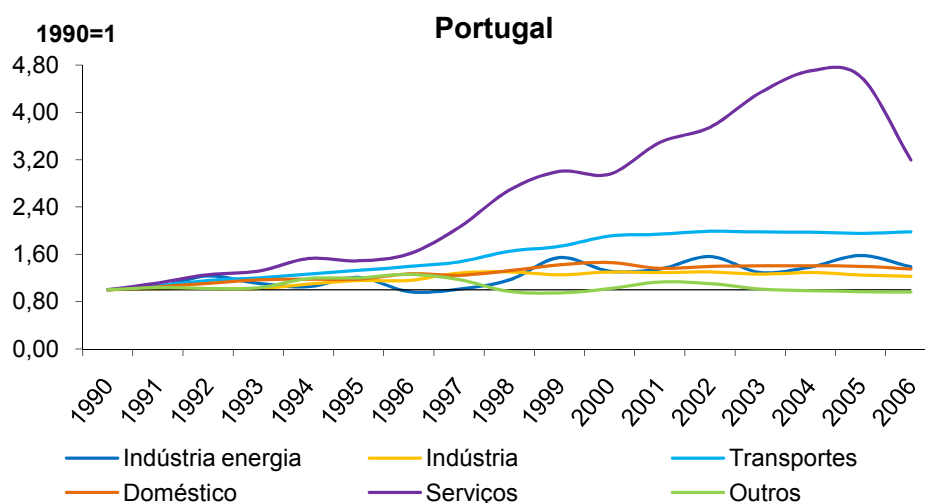


Fig. 4. Evolução de emissões de CO₂ por sector de actividade para Portugal [8].

O relatório *World Energy Outlook* 2009 da Agência Internacional de Energia (AIE) revelou que a crise económica e financeira mundial teve efeitos consideráveis no sector energético mundial, nomeadamente numa redução do consumo global de energia, pela primeira vez desde 1981. Esta redução contribuiu para uma diminuição até 3,6 % nas emissões de CO₂ em 2009 [14]. A contracção mundial de emissões dever-se-á à redução da actividade industrial verificada desde Setembro de 2008, altura em que a recessão económica se começou a fazer sentir.

Yvo de Boer, o mais alto responsável pelo clima na Organização das Nações Unidas (ONU) explicou que “ao reduzir as emissões, a crise económica e financeira criou uma janela de oportunidade para a transição do sistema energético mundial. É uma oportunidade única mas temos de agir imediatamente” [15].

2.6. Caracterização do sector cerâmico português

Denomina-se cerâmica ao conjunto de actividades destinadas à elaboração de toda a espécie de objectos, decorados ou não, e produzidos a partir de diferentes argilas ou barro. A plasticidade característica da argila no estado de barro cru (húmido) permite a sua moldagem e posterior endurecimento após secagem e tratamento térmico (cozedura).

O sector da indústria cerâmica em Portugal é constituído por vários subsectores:

- cerâmica decorativa e utilitária – produção de louça de mesa e cozinha ou decoração em faiança, porcelana e grés fino;
- cerâmica estrutural – produção de telhas, tijolos, abobadilhas, refractário, produtos de grés

para a construção e pavimentos rústicos;

- cerâmica de pavimentos e revestimentos – produção de azulejos, ladrilhos, mosaicos e placas cerâmicas;
- cerâmica de louça sanitária – produção de louça sanitária em porcelana, grés fino e grés;
- cerâmica especial – produção de isoladores eléctricos, de refractários e de novos materiais.

A figura 5 representa, de uma forma geral, a evidente diminuição do número de empresas em Portugal. Entre 2003 e 2007, o subsector da cerâmica utilitária e decorativa tem vindo a ser dos mais afectados, quer pela retracção económica, quer pela forte competição dos novos concorrentes emergentes. Devido à abertura do mercado europeu aos produtos oriundos da Ásia, o subsector em questão depara-se com alguns problemas, uma vez que os referidos produtos são produzidos em economias com “regras de jogo” diferentes das europeias, em que predomina a mão-de-obra barata e, muitas vezes, infantil, onde não existem preocupações ambientais e onde os requisitos de qualidade não têm a exigência verificada na Europa. Também, o ciclo de vida dos artigos cerâmicos utilitários e decorativos é cada vez mais curto, estando relacionado com o factor “moda” em que o mercado facilmente se “cansa” de um produto, sendo necessário alterar o aspecto visual do artigo, não havendo, contudo, uma alteração significativa da sua utilização. É imperativo estabelecer um equilíbrio entre a automatização do processo produtivo e a mão-de-obra contratada, permitindo assim, acompanhar rápida e eficazmente a tendência de mercado, garantindo uma elevada qualidade nos artigos produzidos. Há que reconhecer a importância da gestão de energia e a sua contribuição para o consequente aumento de eficácia, redução da factura energética (os encargos energéticos correspondem, em média, a cerca de 10 a 12 % da estrutura global de custos totais inerentes à produção) e consequentes emissões de CO₂, acréscimo de produtividade, aumento de competitividade, bem como a possibilidade de um conhecimento mais profundo das instalações fabris e da energia despendida no processo produtivo. Só assim será possível, aliada a estratégias de marketing, evitar o declínio do subsector da cerâmica utilitária e decorativa.

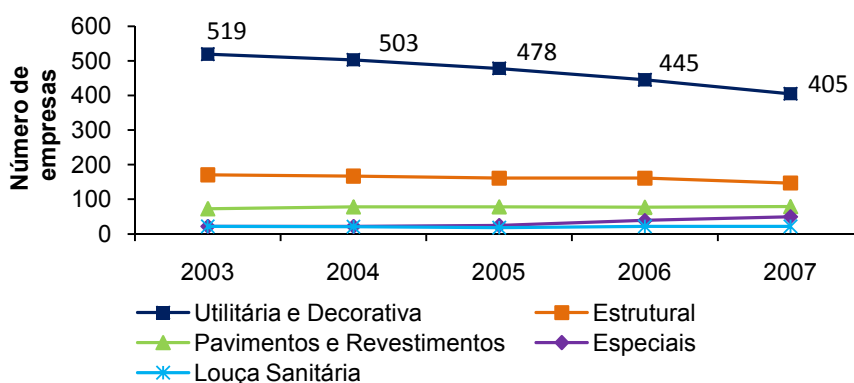


Fig. 5. Evolução do número de empresas por subsector da indústria cerâmica [16].

O subsector da cerâmica utilitária e decorativa, no qual se inclui a faiança, apresenta grande predisposição à exportação. O subsector em causa tem como principal mercado de exportação, segundo dados de 2008, a União Europeia, sendo de destacar a França, a Alemanha e o Reino Unido, seguindo-se o mercado dos Estados Unidos da América. Em 2006, Portugal atingiu 19 % do valor total de vendas na União Europeia, assumindo a posição de principal produtor e exportador de faianças [1].

2.6.1. Emissões de CO₂ na faiança

Ao longo dos anos, a cerâmica decorativa e nomeadamente a faiança tem vindo a fazer um esforço para reduzir as suas emissões de CO₂ através da reconversão de gás petrolífero liquefeito (GPL) para gás natural entre 1998 e 2000, mediante a verificação e manutenção dos fornos, otimizando as condições de funcionamento dos queimadores, e caldeiras, mediante a instalação de variadores e arrancadores progressivos, através de sistemas de controlo de pressão nos fornos, entre outras medidas.

Existem essencialmente dois tipos de faiança: a feldspática, que liberta de modo insignificante ou mesmo nulo CO₂, e a calcítica, que utiliza cerca de 15 % a 20 % de calcite e/ou dolomite e que liberta CO₂ durante o processo de descarbonatação que ocorre aquando o tratamento térmico¹.

A produção de faiança apresenta como particularidade o facto de apresentar uma enorme variabilidade de automatização do processo produtivo, isto é, de tecnologia utilizada, dependendo da dimensão da empresa e do seu produto. Há, ainda, a mencionar que o número de ciclos de cozedura se altera consoante a tipologia dos produtos, isto é, se por um lado existem peças que necessitam de dois ciclos de cozedura, outras podem ser submetidas a tratamento térmico três, quatro ou até, em casos pontuais, cinco vezes (chacota, vidragem interna, vidragem externa, retoque e novamente retoque). Tendo presente estes aspectos, a figura 6 apresenta a produção de faiança e as correspondentes emissões específicas de CO₂. No que concerne à utilização de fornos intermitentes, é preciso ter em conta que a carga térmica a sofrer tratamento não é constante, isto é, tanto a carga de suporte às peças como a própria carga de peças apresenta variabilidade de fornada para fornada. Na chacota é possível enforar uma maior carga de peças utilizando uma menor quantidade de placas refractárias, uma vez que se podem sobrepor peças. Já no vidrado tal não é possível, é preciso garantir que as peças não se toquem, caso contrário vitrificam agarradas. Normalmente, no vidrado, as vagonetas levam uma maior quantidade de placas refractárias e uma menor carga de peças cerâmicas. Neste caso há que considerar a

¹ O tratamento térmico consiste num período de aquecimento, num patamar à temperatura máxima e num arrefecimento controlado, de modo a assegurar que o produto final apresenta as características adequadas à função (dimensões e geometria, resistência e porosidade).

percentagem de peças não conformes que resultam de uma primeira cozedura de vidro mas que podem ser retocadas e novamente sujeitas a tratamento térmico. Isto significa que, na realidade, uma carga de peças cerâmicas irá apresentar um maior consumo de energia. Compreende-se, assim, que várias cozeduras para uma mesma peça acarretam maiores consumos energéticos e consequentemente maiores emissões de CO₂ por unidade de massa produzida. Por este motivo, a faiança corresponde ao subsector que apresenta as maiores emissões de CO₂ por unidade mássica de produção.

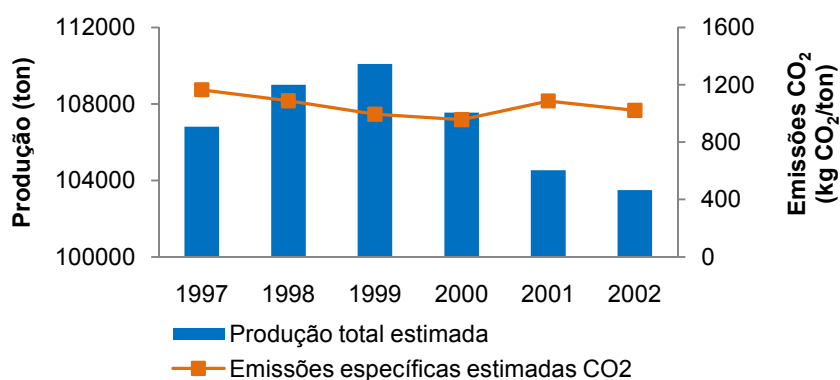


Fig. 6. Evolução da produção de faiança e correspondentes emissões específicas de CO₂ [11].

3. Estratégias para colmatar as alterações climáticas

3.1. O Protocolo de Quioto e o seu cumprimento nacional

O Protocolo de Quioto é consequência de uma série de eventos ocorridos a nível internacional. O IPCC foi criado em 1988 por proposta da Organização Mundial de Meteorologia (OMM) do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA).

Em 1990, o IPCC disponibilizou o 1º Relatório de Avaliação (AR-1), confirmando evidências que serviram de alerta para as alterações climáticas.

Em 1992, na Conferência do Rio – Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e o Desenvolvimento – estabeleceu-se a Convenção Quadro das Nações Unidas para as Alterações Climáticas (UNFCCC) assinada por 154 estados com o intuito de estabilizar as emissões de GEE. O Protocolo de Quioto foi redigido em 1997, na 3ª Conferência das Partes da UNFCCC, estabelecendo-se uma redução conjunta das emissões de GEE em 5,2 %, tendo como base o valor das emissões de 1990 [17]. Este objectivo deverá ser atingido como média anual ao longo de 2008-2012.

A 29 de Abril de 1998, Portugal assinou o Protocolo de Quioto, que ratificou quatro anos depois, através do Decreto n.º 7/2002, de 25 de Março.

O Protocolo de Quioto estabelece que a UE, como um todo, está obrigada a uma redução das emissões de GEE de 8 % em relação às verificadas em 1990. No acordo de partilha de responsabilidades a nível comunitário, ficou estabelecido que Portugal poderia aumentar as suas emissões em 27 % em relação a 1990 [18].

A UE anunciou, em Janeiro de 2008, que Portugal pode aumentar em 1 % as emissões de GEE nos sectores não abrangidos pelo CELE. Actualmente, estima-se que no período de cumprimento do Protocolo de Quioto: 2008-2012, Portugal esteja 5 % acima da quantidade que lhe foi atribuída, o que equivale a emitir mais 17,62 Mton CO₂e do que o tecto de emissões GEE estabelecido [19].

Para atingir o cumprimento nacional, Portugal dispõe de três instrumentos:

- Programa Nacional para as Alterações Climáticas (PNAC 2006) que integra um conjunto de políticas e medidas públicas sectoriais de mitigação de GEE – “O PNAC 2006 identifica políticas e medidas para os sectores mais relevantes em matéria de emissões de GEE: energia (procura e oferta, incluindo os sub-sectores transportes, residencial e serviços, indústria), agricultura e pecuária, floresta e resíduos. Com o PNAC 2006 reforça-se ainda o papel das políticas e medidas nos sectores não abrangidos pelo CELE, como os transportes e o sector residencial” [18];
- Plano Nacional de Atribuição de Licenças de Emissão para o período 2008-2012

(PNALE II), que define as condições a que as instalações industriais abrangidas pelo CELE ficam sujeitas;

- Fundo Português de Carbono, que promove a aquisição de unidades de cumprimento no âmbito dos Mecanismos de Flexibilidade do Protocolo de Quioto, bem como a redução adicional de emissões de GEE através de projectos domésticos.

De forma a cumprir os compromissos comunitários e internacionais assumidos através da UNFCCC, da Convenção sobre Poluição Atmosférica Transfronteira de Longo Alcance (UNECE) e da Directiva relativa aos Tectos Nacionais de Emissões, Portugal submete anualmente o inventário dos GEE e de outros poluentes atmosféricos (como por exemplo, partículas PM₁₀) – Inventário de Emissões Antropogénicas por Fontes e Remoção por Sumidouros de Poluentes Atmosféricos (INERPA).

3.2. Comércio Europeu de Licenças de Emissão de GEE (CELE)

Com o intuito de garantir o cumprimento dos objectivos estabelecidos pelo Protocolo de Quioto e no âmbito da estratégia de redução de emissões de GEE, a UE aprovou a Directiva n.º 2003/83/CE, de 13 de Outubro, dando origem ao primeiro instrumento de mercado intracomunitário de regulação, o Comércio Europeu de Licenças de Emissão de GEE (CELE). O Decreto-Lei n.º 233/2004, de 14 de Dezembro, transpõe para a ordem jurídica interna a directiva enunciada. Este decreto foi alterado pelos Decretos-Lei n.ºs 243-A/2004, 230/2005 e 72/2006, respectivamente, de 31 de Dezembro, 29 de Dezembro e 24 de Março, pelos quais foram introduzidas diversas alterações, nomeadamente a possibilidade dos operadores – pessoa singular ou colectiva, pública ou privada, que explore uma instalação ou em quem tenha sido delegado um poder determinante sobre o funcionamento técnico da instalação – recorrerem aos instrumentos de mercado definidos no Protocolo de Quioto:

- Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) – Redução Certificada de Emissões (CER), créditos que podem ser obtidos mediante investimentos em projectos que conduzam à redução de emissões nos países em desenvolvimento (os países que acolhem estes projectos beneficiam de injeções de tecnologia avançada que permite às suas unidades fabris funcionarem de forma mais eficiente, ou seja, com menores encargos energéticos e inerentes custos);
- Mecanismo de Implementação Conjunta (IC) – Unidades de Redução de Emissões (ERU) que abrange projectos realizados por países industrializados com outros países desenvolvidos, normalmente países com “economias em transição”.

3.2.1. Instalações abrangidas pelo CELE

O PNALE estabelece a quantidade total de licenças de emissão para Portugal e especifica a quantidade de licenças a atribuir a cada instalação abrangida pelo CELE. A licença de emissão é uma licença transferível segundo as disposições do Decreto-Lei n.º 72/2006, de 24 de Março, para emitir 1 ton_{CO₂e} durante um determinado período.

Os sectores abrangidos pelo CELE incluem actividades no sector da energia, produção e transformação de metais ferrosos, indústria mineral (cimento, cerâmica e vidro) e no fabrico de pasta e papel. No caso da cerâmica o critério utilizado para a inclusão de instalações, no primeiro período CELE (2005 a 2007) foi o seguinte:

“Instalações para o fabrico de produtos cerâmicos por cozedura, nomeadamente telhas, tijolos, tijolos refractários, ladrilhos, produtos de grés ou porcelanas com uma capacidade de produção superior a 75 toneladas por dia e/ou uma capacidade de forno superior a 4 m³ e uma densidade de carga enformada por forno superior a 300 kg/m³” [11].

No PNALE I foram consideradas elegíveis 118 instalações do sector cerâmico, representando 3% das licenças de emissão atribuídas [20]. Entretanto uma análise dos Planos de Atribuição dos países da UE mostrou não ter existido uniformidade quanto aos critérios de elegibilidade, em particular no que se refere à interpretação das condições “e/ou”. O Governo Português decidiu adoptar para o PNALE II o critério de abrangência da Directiva de Prevenção e Controlos Integrados da Poluição (PCIP) n.º 96/61/CE, de 24 de Setembro, (substituída pela Directiva IPPC 2008/1/CE, de 15 de Janeiro):

“Instalações de fabrico de produtos cerâmicos por aquecimento, nomeadamente telhas, tijolos, refractários, ladrilhos, produtos de grés ou porcelanas, com uma capacidade de produção superior a 75 toneladas por dia, uma capacidade de forno superior a 4 m³ e uma densidade de carga enformada por forno superior a 300 kg/m³.”

Em resultado deste critério, as instalações fabris do sector cerâmico abrangidas pelo CELE foram reduzidas para 2 %, uma vez que os subsectores do pavimento e revestimento, refractário, sanitário e argila expandida não cumprem o critério cumulativamente. Neste sentido, apenas ficou abrangido o subsector da cerâmica estrutural (telha e tijolo) e algumas instalações de produção de pavimento e revestimento.

A atribuição das licenças de emissão a cada instalação resultou de uma metodologia “bottom-up”, instalação a instalação, com base nas respectivas necessidades e no potencial de redução de emissões.

3.2.2. O mercado das licenças de CO₂

O mercado de carbono abrange as transacções das licenças de emissão (EUA), atribuídas em função dos compromissos de Quioto e dos acordos de partilha de responsabilidades, dos créditos correspondentes às transacções das reduções certificadas de emissões (CER) que resultam do MDL e das unidades de redução de emissões (ERU) que dimanam dos projectos de IC.

A bolsa europeia de carbono sediada em Paris (a Bluenext foi constituída em 2007) inicializou a transacção à vista de CER em Agosto de 2008 [21]. A 8 de Janeiro de 2010, a Bluenext e a Citi, empresa global de serviços financeiros, realizaram o primeiro leilão de ERU, negociando 400 kton a 11,21 €/ton [22].

O preço do carbono varia em função da oferta e da procura, ficando assim sujeito à dinâmica do mercado. Em Dezembro de 2009 o preço médio de fecho das licenças EUA estabeleceu-se em 13,48 €/ton, valor este inferior ao verificado para Novembro do mesmo ano, 13,54 €/ton, possivelmente devido ao “débil” acordo de Copenhaga que não estabeleceu metas apropriadas para impulsionar a procura de licenças de emissão [23].

A SendeCO₂ – Sistema Electrónico de Negociação de Direitos de Emissão de CO₂, com representação em Portugal, representa um mercado secundário de EUA e CER focalizado para o segmento-alvo das micro, pequenas e médias empresas (PME). A figura 7 evidencia a oscilação do preço médio de fecho ao longo de 2009 para a transacção das EUA e dos CER. No mês de Dezembro o preço médio de fecho para as EUA alcançou o valor de 13,32 €/ton e de 12,31 €/ton para os CER.

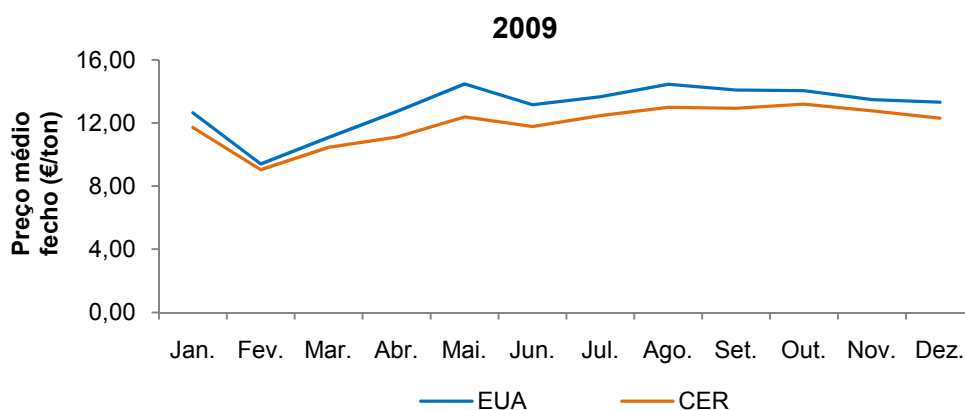


Fig. 7. Oscilação do preço médio de fecho de EUA e de CER, segundo a SendeCO₂ [24].

3.3. O acordo de Copenhaga

A Conferência das Partes (COP 15), da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Alterações Climáticas, que decorreu em Dezembro de 2009 em Copenhaga, tinha como principal intuito chegar a um acordo internacional e legalmente vinculativo relativamente às metas de redução das emissões de CO₂ nos países industrializados, que limitasse o incremento das emissões nos países em desenvolvimento e que contemplasse financiamento para acções que conduzam à mitigação dos efeitos das alterações climáticas. Era intuito redigir um documento que substitui-se o Protocolo de Quioto, o que termina em 2012. No entanto, o acordo atingido consistiu num acordo não vinculativo alcançado por três dezenas de países industrializados e emergentes, dos quais se destacam os Estados Unidos da América e a China.

O objectivo traçado pelo acordo é limitar o aquecimento planetário a 2 °C em relação aos níveis pré-industriais, prevendo um montante de 30 mil milhões de dólares a curto prazo (para 2010, 2011 e 2012), até 100 mil milhões de dólares até 2020, destinado aos países mais vulneráveis para os apoiar na adaptação aos impactes do desregulamento climático [24] [25].

As metas de redução anunciadas para 2020 também não são vinculativas e têm diferentes anos base. Os Estados Unidos da América apontaram um decréscimo de 17 % das emissões até 2020 face aos níveis de 2005. Segundo a legislação em vigor, é intuito dos Estados Unidos da América reduzir as emissões de GEE em 30 % até 2025, em 42 % até 2030 e em 83 % em 2050 [26].

A UE compromete-se a uma redução de emissões entre 20 a 30 % até 2020, comparativamente aos níveis de 1990 [26-27].

Alguns países em desenvolvimento, nomeadamente o Brasil, a China, a Índia e o México, assumiram propostas de mitigação voluntárias. A China aceita reduzir a sua intensidade carbónica entre 40 a 45 % até 2020 face aos níveis de 2005, de acordo com o critério de intensidade carbónica que considera a produção *per capita* [28]. Compromete-se, ainda, a incrementar o consumo de combustíveis não fósseis em cerca de 15 % até 2020, a aumentar a densidade florestal em 40 milhões de hectares e o stock florestal para 1,3 biliões de m³ até 2020 [26].

4. Avaliação do Ciclo de Vida (ACV)

4.1. Gestão Integrada do Produto

Na óptica da perscrutação da sustentabilidade da indústria, foi desenvolvida uma Política Integrada do Produto (PIP). Em 1999, no Conselho Informal de Ministros, realizado em Weimar, foi reconhecida a necessidade de desenvolver uma estratégia de reforço e concertação de políticas que conduzissem simultaneamente a uma melhoria contínua da performance ambiental e a um superior desempenho dos produtos, identificando-se oportunidades de mitigação de consumos energéticos e consequentemente de emissões de GEE. Em Março de 2004, foi publicada uma Comunicação da Comissão ao Conselho e ao Parlamento Europeu, COM 2003 (302), sobre a PIP. Esta comunicação, para além de reforçar a abordagem da PIP, fomentou a utilização deste instrumento de forma a reduzir os impactes ambientais ao longo do ciclo de vida do produto. Assim, a par do Sistema de Gestão Ambiental, que contempla

- o Sistema Comunitário de Ecogestão e Auditoria (EMAS), que tem como objectivos a avaliação e melhoria do desempenho ambiental das organizações,
- e a norma ISO 14001:2004, publicada pela *International Organization for Standardization*, (ISO),

a PIP promove a adesão das indústrias a Sistemas Orientados para os Produtos mediante

- a atribuição do rótulo ecológico, segundo as ISO 14020:2001 a 14024:1999,
- e pela Avaliação do Ciclo de Vida, segundo as ISO 14040:2006 (*Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework*) e 14044:2006 (*Environmental management – Life cycle assessment – Requirements and guidelines*).

A figura 8 ilustra o supramencionado.

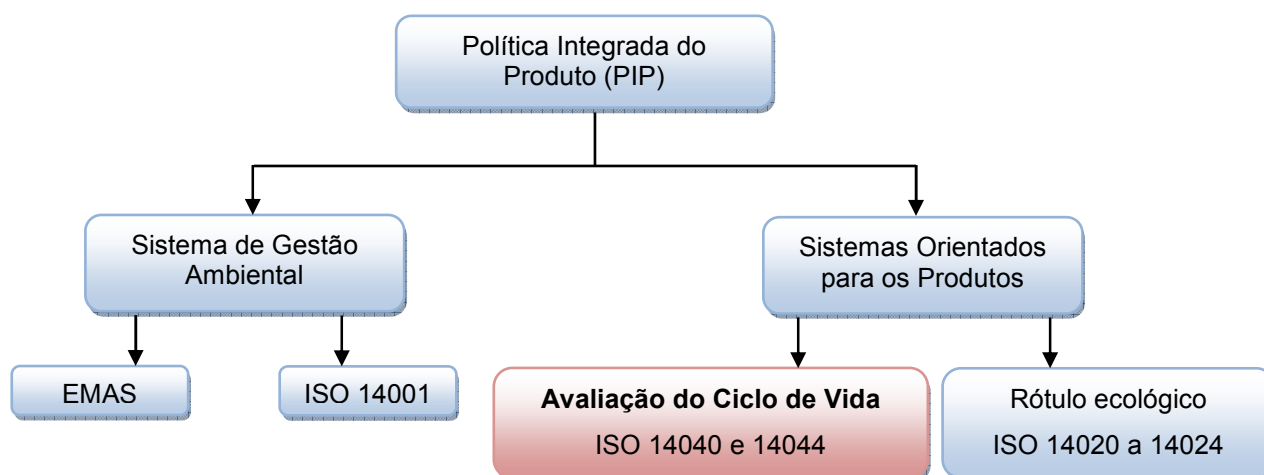


Fig. 8. Política Integrada do Produto [11].

4.2. Metodologia da Avaliação do Ciclo de Vida

A ACV, conhecida internacionalmente por *Life Cycle Assessment* (LCA), consiste num método, padronizado pelas normas ISO 14040:2006 e 14044:2006, que avalia os impactes ambientais e na saúde humana das emissões e descargas e os recursos consumidos ao longo do ciclo de vida dos produtos. O conceito “ciclo de vida” refere-se à maioria das actividades no decurso de vida do produto, do berço ao túmulo (*from cradle to grave*), isto é, desde a extracção das matérias-primas, passando pela produção, transporte e distribuição, utilização pelo consumidor final ou prestação de um serviço, reutilização, reciclagem e/ou deposição final [29]. A figura 9 ilustra o ciclo de vida de um produto cerâmico.

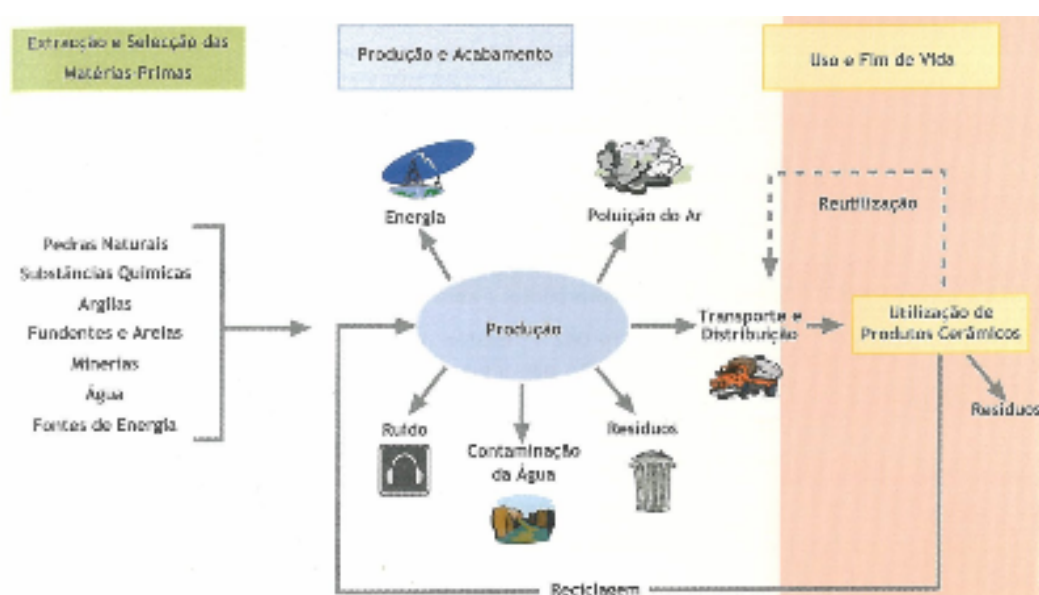


Fig. 9. Ciclo de vida de um produto cerâmico [11].

A realização de um estudo ACV permite [29]

- desenvolver uma avaliação sistemática das consequências ambientais associadas a um dado produto e direccionar esforços para as minorar,
- analisar os balanços (ganhos/perdas) ambientais associados a um ou mais produtos/processos de modo a que os visados (estado, comunidade local, etc.) aceitem uma acção planeada,
- quantificar as descargas ambientais para o ar, água e solo relativamente a cada estágio do ciclo de vida e/ou processos problemáticos,
- intervir na identificação de significantes trocas de impactes ambientais entre estágios de ciclo de vida e o meio ambiental,

- avaliar os efeitos humanos e ecológicos do consumo de materiais e de descargas ambientais,
- comparar os impactes ecológicos e na saúde humana entre dois ou mais produtos/processos concorrentes e substitutos ou identificar os impactes de um produto/processo específico,
- identificar impactes em uma ou mais áreas ambientais específicas de interesse.

O estudo ACV envolve numerosos e variados recursos materiais e imateriais e implica a recolha de dados em diversas bases de dados (associações industriais, bases de dados de ACV da Comunidade Europeia, livros, artigos científicos, etc.), o que contribui para uma variabilidade da qualidade dos dados recolhidos. Atendendo à complexidade dos diversos processos que ocorrem ao longo do ciclo de vida do produto e de inventariação de todos os fluxos, os resultados obtidos mediante a ACV encerram um inerente grau de incerteza, que deve ser minimizado tanto quanto possível.

O processo de ACV é uma abordagem sistemática composta por quatro fases [30] [31]:

1. definição do objectivo e do âmbito;
2. Inventário;
3. avaliação de impacte;
4. interpretação dos resultados.

4.2.1. Definição do objectivo e do âmbito

A primeira fase da ACV consiste na definição do objectivo do estudo, do seu âmbito, da unidade funcional e na elaboração de um procedimento para assegurar a qualidade e fiabilidade do estudo.

Segundo a norma NP EN ISO 14040:2006, *“o objectivo da ACV estabelece a aplicação pretendida, as razões para levar a cabo o estudo e o público-alvo, isto é, a quem se pretende comunicar os resultados do estudo, e se os resultados se destinam a ser utilizados em afirmações comparativas para divulgação pública”*.

Na definição do âmbito de um estudo ACV, devem ser considerados e declaradamente descritos os seguintes itens [31]:

- o sistema de produto a estudar – conjunto de processos unitários que regula o ciclo de vida de um produto;
- as funções do sistema de produto ou, em caso de estudos comparativos, dos sistemas;
- a unidade funcional – deve descrever de forma adequada a função do produto (reflecte a

finalidade do produto);

- a fronteira do sistema – estabelece o limite entre o sistema de produto e o meio ambiente, e entre o sistema de produto em análise e outros sistemas de produto;
- procedimentos de alocação – acto de imputar (distribuir) fluxos de entrada e/ou de saída entre o produto do sistema em estudo e os co-produtos e/ou subprodutos resultantes do mesmo processo, estipulando-se, assim, a quota-parte de responsabilidade nos impactes ambientais do produto em análise;
- categorias de impacte seleccionadas;
- pressupostos e limitações – de forma a fomentar uma interpretação fiável e coerente dos resultados;
- qualidade dos dados iniciais – tanto quanto possível, devem ser privilegiados dados primários, ou seja, dados medidos ao longo do ciclo de vida do produto;
- tipo de revisão crítica – dependendo do destino dos resultados obtidos, comunicação interna ou externa, a revisão deverá ser realizada por revisores internos que estejam familiarizados com as práticas da ACV mas que não tenha estado envolvido no estudo, ou por peritos externos em ACV, respectivamente;
- tipo e formato do relatório requerido para o estudo.

4.2.2. Inventário do Ciclo de Vida (ICV)

O ICV é um processo de recolha de dados e de quantificação de vectores energéticos, matérias-primas, materiais, emissões atmosféricas, emissões para a água, resíduos sólidos, e outras entradas e saídas relevantes do sistema de produto. Na ausência de um ICV, não existe uma base comparativa para avaliar impactes ambientais e potenciais melhorias. O nível de detalhe e precisão dos dados aqui reunidos reflecte-se nas restantes fases da ACV.

Uma análise de ICV produz uma lista que contém as quantidades de poluentes libertados para o ambiente e a quantidade de energia e material consumido.

A análise ICV considera as seguintes etapas [32]:

1. construção da árvore de processo – ferramenta para mapear as entradas e saídas de um processo que consiste numa referência gráfica para orientar a recolha de dados e posteriores cálculos;
2. verificação da fronteira do sistema de produto com o ambiente e do sistema com outros sistemas de produto;

3. recolha de dados;
4. cálculos – incluem os procedimentos de alocação e de construção da tabela de inventário.

4.2.3. Avaliação de Impacte do Ciclo de Vida (AICV)

A AICV utiliza os resultados da ICV para a avaliação da significância dos potenciais impactes no ambiente e na saúde humana e compreende uma série de elementos obrigatórios que convertem os dados do ICV em resultados de indicadores de categoria – perfil de impacte ambiental – para as diferentes categorias de impacte, e também uma série de elementos opcionais [29].

Elementos obrigatórios:

1. categorias de impacte – são identificadas as categorias relevantes de impacte ambiental, como por exemplo, o potencial de aquecimento global (PAG), a acidificação, a toxicidade humana, a depleção da camada do ozono, etc.;
2. indicadores de categoria – a cada categoria de impacte está associado um indicador de categoria, por exemplo, a categoria de impacte PAG tem como indicador de categoria a radiação infravermelha absorvida (W/m^2);
3. modelos de caracterização – comumente utiliza-se o modelo de análise/exposição genérica, no qual os impactes são determinados com base em informações sobre os processos ambientais;
4. classificação – selecção e definição das categorias de impacte a analisar e quais os resultados do ICV a imputar a cada uma das categorias de impacte [30];
5. caracterização – conversão dos resultados do ICV para unidades comuns e a sua agregação à categoria de impacte já identificada, considerando factores de caracterização que expressam a contribuição de uma unidade de carga ambiental (por exemplo, 1 kg de tetraclorofluorcarboneto ($CFCl_3$)) para a(s) categoria(s) de impacte ambiental (por exemplo, PAG e depleção da camada do ozono).

Os elementos opcionais:

1. normalização – consiste na divisão dos resultados das categorias de impacte por valores de referência (factores de normalização) específicos para cada categoria, permitindo, assim, uma comparação entre diferentes categorias de impacte;
2. ponderação e agregação – atribuição de pesos relativos a cada categoria de impacte, de forma a agregar os resultados num único índice ambiental para cada produto ou processo estudado.

4.2.4. Interpretação da ACV

Nesta fase procede-se à avaliação e análise dos resultados, à explicação de limitações, bem como à apresentação de algumas recomendações. Esta fase compreende três elementos [32]:

- identificação das questões significativas – devem ser identificadas as principais contribuições de cada categoria de impacte em resultado da ACV;
- avaliação da abrangência, sensibilidade e consistência – assegurar que toda a informação relevante e dados necessários para a interpretação estejam disponíveis e completos; avaliar a confiança dos resultados e conclusões finais, verificando se os resultados são afectados pelas incertezas dos dados, métodos de alocação ou cálculos dos resultados dos indicadores de categoria; determinar se os pressupostos, métodos e dados são consistentes com os objectivos e âmbito do estudo;
- conclusões, recomendações e relatório – pretende-se obter conclusões e verificar a sua consistência com os requisitos do objectivo e âmbito do estudo. O relatório deve descrever o estudo de modo imparcial e o mais completo possível.

4.3. Rótulo ecológico europeu

O sistema de atribuição do rótulo ecológico da União Europeia tem carácter voluntário e foi instituído em 1992 pelo Regulamento (CEE) n.º 880/92, revisto e revogado pelo Regulamento (CE) n.º 1980/2000, sendo posteriormente revogado pelo Regulamento (CE) n.º 66/2010. O sistema tem por finalidade promover produtos com potencial de redução de impactes ambientais negativos ao longo do seu ciclo de vida. Pretende incentivar as unidades industriais e os fornecedores de serviços a procurarem vantagens competitivas através da oferta de produtos que satisfaçam as condições para a atribuição do rótulo ecológico. O rótulo ecológico ou “ecorótulo” tem como logótipo uma flor.

Os produtos identificados com o logótipo da flor permitem, ao consumidor, fazer uma escolha consciente e criteriosa aquando da aquisição do produto, mediante a disponibilização de informações simples, claras e precisas sobre as suas características ambientais. Apesar de o produto ostentar um logótipo simples, os critérios ambientais para a sua atribuição são bastante específicos e alicerçados na ACV. Os critérios a atribuir a um determinado grupo de produtos (bens ou serviços que tenham finalidades equivalentes, isto é, que sejam equivalentes em termos de utilização e de percepção pelos consumidores) são desenvolvidos pelo Comité do Rótulo Ecológico da União Europeia (CREUE) e são baseados no desempenho ambiental dos produtos, tendo em conta o seu ciclo de vida. São determinados segundo alguns aspectos, entre os quais,

os impactes ambientais a nível global ou regional, os potenciais de melhoria ambiental mediante a reutilização dos produtos e durabilidade dos mesmos e as eventuais substituições de materiais perigosos por substâncias mais seguras [33].

Actualmente, o rótulo ecológico europeu é concedido a 22 categorias de produtos. O grupo serviços de alojamento turístico é o que detém o maior número de atribuição de licenças (34 %), seguindo-se o grupo dos produtos para fins sanitários e produtos de limpeza (12 %) e os grupos dos produtos têxteis de interiores e exteriores e das tintas/vernizes, ambos com 10 % das licenças [34].

A título exemplificativo, a figura 10 ilustra um produto de limpeza distinguido com o rótulo ecológico em Outubro de 2009.



Fig. 10. Rótulo ecológico europeu [35].

O rótulo ecológico não pode ser atribuído a [33] [11]

- substâncias ou preparações classificadas como muito tóxicas, tóxicas, perigosas para o ambiente, cancerígenas, tóxicas no que respeita à reprodução ou mutagénicas,
- produtos fabricados por processos susceptíveis de prejudicar de forma relevante o ser humano e/ou o ambiente ou que na sua aplicação formal possam ser nocivos para o consumidor,
- géneros alimentícios e bebidas,
- produtos farmacêuticos,
- dispositivos médicos que se destinem apenas à utilização profissional ou a serem prescritos ou supervisionados por médicos.

Por exemplo, a Decisão da Comissão 2002/272/CE, de 25 de Março, apresenta os critérios a cumprir ao longo do processo produtivo para a atribuição do rótulo ecológico ao grupo de produtos revestimentos duros para pavimentos. Este grupo compreende os produtos para pavimentação de interiores e/ou exteriores destituídos de qualquer função estrutural de relevo, nomeadamente:

aglomerados de pedra, pedras naturais, lajes de betão, mosaicos, ladrilhos de cerâmica e tijolos. Os critérios definidos propõem-se a fomentar [36]

- a redução dos impactes ambientais nos habitats e recursos associados,
- a redução do consumo de energia,
- o decréscimo de descargas de substâncias tóxicas ou de outras substâncias poluentes,
- a redução da utilização de substâncias perigosas,
- a segurança e a ausência de risco para a saúde no quadro de vida normal,
- a disponibilização de informação que permita ao consumidor usar o produto de modo eficiente, minorando o seu impacto global.

4.3.1. O rótulo ecológico e a pegada de carbono

A Comissão Europeia juntamente com os *stakeholders* (todas as partes interessadas, como por exemplo, empresas, centros de investigação, universidades, etc.) está a tentar perceber como considerar sistematicamente a pegada de carbono no processo de atribuição do rótulo ecológico. Para tal foi, inclusivamente, encomendado um estudo (*Study for the EU Ecolabel Carbon Footprint toolkit*) para desenvolver uma aplicação informática em Microsoft Excel. Esta versão experimental cumpre os requisitos da ACV e permite quantificar a pegada de carbono para quatro grupos de produtos (bens e serviços como mencionado na NP EN ISO 14040:2006) [37]:

- papel de cópia e papel para usos gráficos;
- revestimentos duros para pavimentos;
- lâmpadas eléctricas;
- calçado.

O relatório final, apresentado a Novembro de 2008, teve como intuito promover a discussão na Comunidade do rótulo ecológico, a fim de decidir qual a melhor abordagem para avançar com esta questão. Por exemplo, colocou-se a hipótese de que para além do rótulo ecológico, o produto apresentasse um segundo rótulo respeitante à emissão de GEE [38].

Ressalva-se que, neste contexto, a pegada de carbono representa as emissões globais de CO₂ e restantes GEE associadas ao produto ao longo da sua cadeia de abastecimento, que por vezes inclui a fase de utilização, deposição final e reciclagem.

Também, os Estados Unidos da América, através do Carbon Fund, desenvolveram o rótulo *Certified CarbonFree™* para certificar produtos que apresentem preocupações ambientais, nomeadamente com o aquecimento global. O objectivo do *Carbon Footprint Protocol* passa por

disponibilizar um método prático, transparente e acessível que possa ser aplicado a uma ampla variedade de produtos e instituições. Esta metodologia deve ser implementada mediante a consulta simultânea das ISO 14040:2006 e 14044:2006, do protocolo *Greenhouse Gas Protocol for corporate GHG reporting* e das especificações PAS 2050:2008.

É referida a obrigatoriedade de contabilizar as emissões de CO₂, sendo opcional a inclusão dos restantes GEE contemplados no protocolo de Quioto, desde que a sua contribuição para a pegada de carbono seja superior a 10 % das emissões totais de GEE [39]. Em 2008 existiam 26 produtos certificados, repartidos por 6 organizações, desde bebidas e açúcar (produzido pela Florida Crystals, figura 11), até a equipamentos electrónicos. O primeiro telemóvel certificado foi desenvolvido pela Motorola que, para além de incorporar práticas “amigas do ambiente”, assegura que o equipamento é 100 % reciclável [40] [41].



Fig. 11. Rótulo *Certified CarbonFree™* atribuído ao açúcar produzido pela Florida Crystals [42].

5. Metodologias para quantificar a pegada de carbono

5.1. Pegada de carbono de uma organização

A pegada de carbono de uma organização contempla as emissões de GEE resultantes de todas as actividades da organização, incluindo o consumo energético nos edifícios, os processos industriais e veículos da empresa. As organizações vêem a possibilidade de analisar e identificar áreas com potencial de redução de emissões, bem como de dispor de uma forma de inventariar e comunicar as emissões da instituição de acordo com a legislação disponível, por exemplo, para adesão ao CELE.

O *Greenhouse Gas Protocol Initiative*, a par do desenvolvimento de normas corporativas de transparência e de contabilização para a quantificação de emissões de GEE ao longo do ciclo de vida do produto – *Product Life Cycle Standard*, desenvolve normas corporativas de transparência e de contabilização para a quantificação de emissões de GEE ao longo da cadeia de valor da organização – *Corporate Value Chain Standard* [43]. O *Greenhouse Gas Protocol Initiative* resulta numa parceria entre o World Business Council for Sustainable Development (WBCSD), que consiste numa coligação entre 170 empresas, e o World Resources Institute (WRI), que é uma organização sem fins lucrativos constituída por mais de 100 cientistas, peritos internacionais e analistas de negócio.

A figura 12 ilustra os âmbitos e as actividades das quais resultam emissões directas e indirectas ao longo da cadeia de valor da organização. Os âmbitos foram definidos para efeitos de registo e comunicação (relatório) no *GHG Protocol Corporate Accounting and Reporting Standard*.

As emissões directas provêm de fontes que pertencem ou estão sobre o controlo da empresa; as indirectas são consequência das tarefas da organização, mas que ocorrem em fontes que estão sob a alçada de outras empresas. Como ilustrado na figura 12, as emissões directas do âmbito 1 dizem respeito, por exemplo, a emissões de combustão de fornos e caldeiras e a emissões de veículos da empresa, enquanto que as emissões indirectas do âmbito 2 resultam da produção da energia eléctrica consumida pela empresa. O âmbito 3, opcional no *GHG Protocol Corporate Accounting and Reporting Standard* (focaliza-se nos registos e relatórios de GEE de uma organização), passa a ser obrigatório na *Corporate Value Chain Standard* e considera todas as emissões indirectas não consideradas no âmbito 2, como por exemplo, viagens de colaboradores, utilização dos produtos e deposição final.

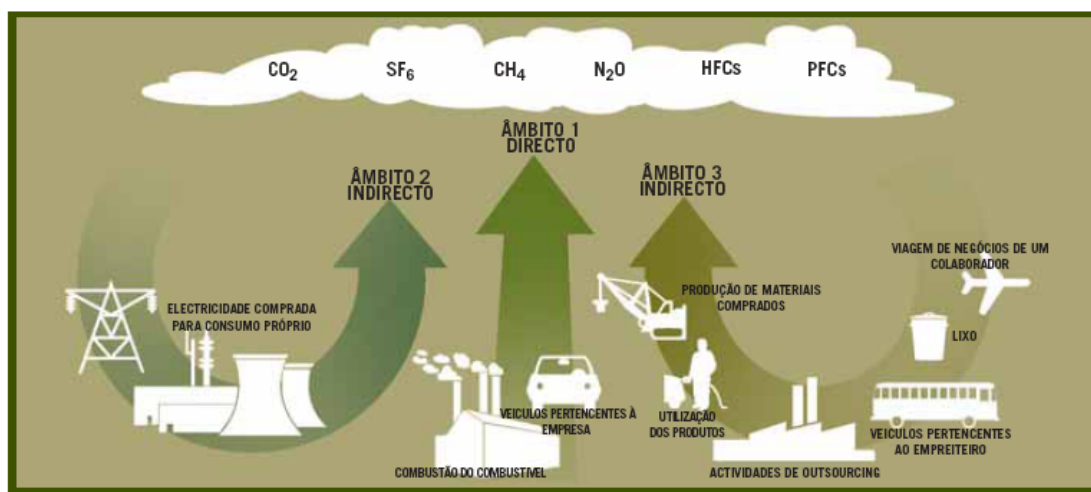


Fig. 12. Âmbitos e as actividades das quais resultam emissões ao longo da cadeia de valor da organização [44].

O Carbon Trust desenvolveu uma ferramenta *on-line* para calcular a pegada de carbono de uma organização, considerando as emissões provenientes dos 3 âmbitos acima mencionados. Segundo o Carbon Trust, a abordagem sistemática a aplicar pode ser segmentada em seis passos:

1. definição da abordagem ao caso de estudo, com base no *GHG Protocol Corporate Standard* ou na ISO 14064:2006 – *Greenhouse Gas Accounting and Verification*;
2. definição da fronteira do sistema e o âmbito do estudo, podendo-se optar por analisar as emissões de todos os GEE ou somente as emissões de CO₂;
3. recolha de dados e cálculo da pegada de carbono, sendo importante utilizar factores de conversão para CO₂e provenientes de fontes fidedignas;
4. verificação dos resultados por um revisor externo (passo opcional);
5. divulgação dos resultados como estratégia de marketing (passo opcional) [45].

5.2. Pegada de carbono de um produto

5.2.1. Enquadramento

Entenda-se que a pegada de carbono é uma subcategoria da ACV que tem como foco analisar as emissões que ocorrem ao longo do ciclo de vida do produto e que contribuem para o aquecimento global [46].

A medição da pegada de carbono do produto ao longo do seu ciclo de vida consiste num válido procedimento para

- reduzir as emissões de GEE,
- identificar oportunidades de redução de custos,
- mostrar reais preocupações a nível ambiental,
- introduzir as emissões na tomada de decisão relativamente a fornecedores, materiais, design do produto, processo produtivo, etc.,
- perceber as exigências dos clientes no que respeita a informações relativamente à pegada de carbono,
- criar uma diferenciação de produto face a um produto substituto e concorrente.

A comunidade industrial disponibiliza-se para apoiar o desenvolvimento de uma metodologia credível e rigorosa que permita quantificar as emissões de GEE, com particular atenção para o CO₂, de modo a encontrar oportunidades para aumentar a eficiência energética. Para além da possibilidade de reduzir os encargos energéticos, a comunidade reconhece que o consumidor final procura, cada vez mais, produtos ambientalmente sustentáveis. Na perspectiva de competitividade e marketing, é imperial desenvolver uma metodologia transversal a todos os sectores e reconhecida em todo o mundo, que contemple uma plataforma de comunicação clara, concisa e credível, que permita ao consumidor fazer uma escolha consciente.

A 4 de Março de 2008, a União Europeia promoveu um encontro com os seus estados-membros, cujo objectivo era levar os estados-membros, concomitantemente com a Comissão Europeia, a apresentar as suas actividades no campo da medição e da rotulagem da pegada de carbono de produtos e discutir a necessidade de uma abordagem harmonizada. Pelo menos 4 estados membros (Bélgica, França, Reino Unido e Alemanha) desenvolviam, independentemente, bases de dados e metodologias para mensurar a pegada de carbono de produtos, isto é, quantificar as emissões ao longo de toda a vida de um produto, desde a extracção das matérias-primas, passando pelo processo produtivo, até à sua utilização final e reutilização, reciclagem e/ou deposição final [47].

Na Bélgica, as estratégias sobre os produtos são da responsabilidade da autoridade federal. No entanto, a responsabilidade ambiental é delegada a nível regional. Assim, o Brussels Institute for environmental policy (IBGE) utilizava um conceito mais lato da pegada de carbono, conhecido como *Ecological Footprint* ou pegada ecológica. A pegada ecológica pretende estimar o impacto ambiental decorrente do estilo de vida do ser humano, permitindo avaliar os recursos consumidos e a capacidade da natureza absorver os resíduos e os poluentes emitidos. O IBGE apresenta diversas estratégias, entre as quais, reforçar a consciência dos habitantes de Bruxelas para os limites de sustentabilidade planetária, disponibilizando uma ferramenta que permita avaliar a sua pegada ecológica, ao mesmo tempo que sugere indicadores de eficiência energética para o *Brussels Eco-dynamic label*, um reconhecido mecanismo que premeia as empresas que se empenham na gestão sustentável.

5.2.2. O projecto PCF para a quantificação da pegada de carbono

A Alemanha sentia pressões do mercado, particularmente pelos consumidores, para desenvolver actividades relacionadas com a pegada de carbono de produtos. Neste sentido foi estabelecido o projecto-piloto para a quantificação da pegada de carbono (projecto PCF) que visa testar a aplicabilidade prática das ISO 14040:2006 e 14044:2006 e da PAS 2050:2008, não tendo como pretensão desenvolver um novo método de quantificação da pegada de carbono. Este projecto pretende elaborar, com base em experiências práticas, recomendações para o desenvolvimento metódico e de coordenação internacional que permita implementar um método transparente e cientificamente fundamentado para a quantificação da pegada de carbono do produto.

Neste contexto, o conceito de pegada de carbono foi definido como a soma de todas as emissões de GEE, com particular interesse pelo CO₂, durante o ciclo de vida de um produto (bem ou a partir da extracção, da aquisição e transporte de matérias-primas e materiais, passando pela produção, distribuição e utilização, reciclagem e/ou deposição final do produto [48].

O projecto é coordenado pelo Word Wide for Nature (WWF), pelo Öko-Institut – Institute for Applied Ecology, pelo Potsdam Institute for Climate Impact Research e pelo THEMA1, estando envolvidas dez empresas [49]:

- BASF;
- Dm-Drogerie Markt;
- Royal DSM N.V.;
- Frosta;
- Henkel;
- Grupo REWE;

-
- Tchibo;
 - Tetra Pak;
 - Grupo Tengelmann;
 - T-Home.

Cada empresa participante seleccionou pelo menos um produto e aplicou o projecto PCF [49].

Foram agendados *workshops* semestrais para discussão entre todos os parceiros dos desenvolvimentos realizados e da implementação de novos casos de estudo. Os resultados obtidos pelas várias empresas foram apresentados numa conferência em Berlim a 26 de Janeiro de 2009. A 6 de Agosto de 2009, foram apresentados os resultados finais e foram analisados os desafios e dificuldades específicas de cada caso de estudo.

O projecto PCF debruça-se, também, na questão de como comunicar os resultados aos consumidores – será necessário desenvolver um novo rótulo? Por outro lado, pretende-se criar uma rede de sinergias entre as empresas, de modo a que possam ser partilhados conhecimentos de uma forma eficaz [50] [51].

A BASF é uma empresa que se dedica ao fabrico de produtos químicos, agroquímicos e plásticos e seleccionou dois produtos: o material isolante Neopor® e o corante Fixapret ECO [49].

Já a Frosta, fabricante de produtos congelados optou por analisar a comida de conveniência Tagliatelle Wildlachs. Foram consideradas a produção das matérias-primas (legumes, leite, etc.), o seu transporte, armazenamento e processamento na unidade fabril, a distribuição e utilização do produto final, considerando as viagens do consumidor para adquirir o produto, a preparação da refeição e até o lavar da louça à máquina, não esquecendo todos os resíduos resultantes deste ciclo. A unidade funcional considerada foi 500 g de alimento (uma embalagem de Tagliatelle Wildlachs). De um modo geral, os resultados obtidos e divulgados em Janeiro de 2009 foram os seguintes: as matérias-primas são responsáveis por quase 52 % das emissões de CO₂e do produto, o consumidor final contribui com 29 % e o processamento, incluindo a logística, com os restantes 19 %. Ao nível de oportunidades de redução de emissões para a unidade funcional, foi identificada a oportunidade de utilizar a ferrovia em detrimento de um camião e a possibilidade de aumentar a recuperação de calor no decorrer do processo produtivo, nomeadamente na etapa de refrigeração [52].

A Royal DSM N.V. cria produtos e serviços inovadores em ciências da vida e ciências dos materiais, nomeadamente o Claristar™, que é uma solução natural para a estabilidade do tártaro de potássio nos vinhos brancos e rosados. A Royal DSM N.V. pretendia provar que a utilização do Claristar™ para a estabilização do vinho contribuía para uma menor pegada de carbono, face ao método tradicional de estabilização do vinho (*cold stabilization* a uma temperatura de -4 °C). A unidade funcional considerada foi a estabilização de 100 l de vinho, permitindo, assim, uma comparação entre diferentes métodos de estabilização [51] [53]. Contrariamente ao que acontece

no método tradicional de estabilização do vinho, em que só o consumo de energia é responsável pela emissão, estimada, de $1 \text{ kg}_{\text{CO}_2\text{e}}/100 \text{ l}$ de vinho, a adição do estabilizante à produção do vinho não acarreta consumo de energia. Foram consideradas a extracção, produção e expedição das matérias-primas (melaço, que é um co-produto da refinação do açúcar e da amónia, ácido sulfúrico e ácido fosfórico), a produção do estabilizante (produto), a sua distribuição para o produtor de vinho em recipientes de 1000 l num camião de 32 ton e a fase de utilização por parte do consumidor final. As figuras 13 e 14 apresentam as pegadas de carbono, tendo em conta os cenários estabelecidos pela empresa. Para o melhor cenário equacionado, determinou-se uma pegada de carbono de $295 \text{ g}_{\text{CO}_2\text{e}}/100 \text{ l}$ de vinho estabilizado, enquanto para o pior cenário, calculou-se um valor de $385 \text{ g}_{\text{CO}_2\text{e}}/100 \text{ l}$ de vinho estabilizado. A Royal DSM N.V. provou que, mesmo considerando o pior cenário, a pegada de carbono resultante da estabilização de 100 l de vinho utilizando o ClaristarTM seria significativamente inferior à que se obteria recorrendo à estabilização do vinho pelo método tradicional [54].

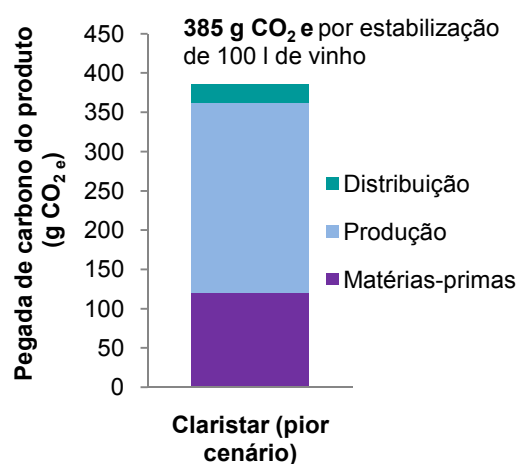
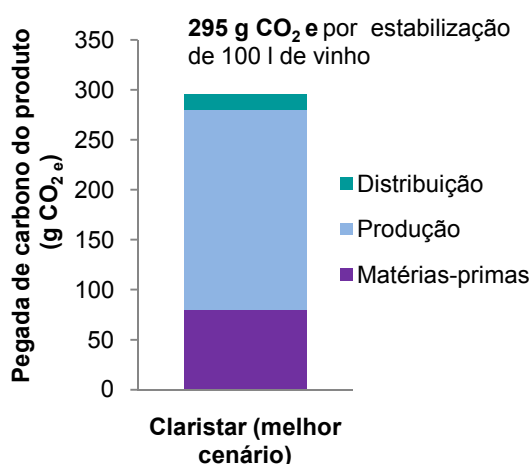


Fig. 13. Pegada de carbono (melhor cenário) [54]. **Fig. 14.** Pegada de carbono (pior cenário) [54].

Independentemente do cenário estabelecido, constatou-se que a maior fatia de emissões resultava do consumo de energia eléctrica na produção do estabilizante, isto é, na agitação e refrigeração aquando a fermentação, e na produção de vapor utilizado para aquecimento, esterilização e limpeza de equipamentos. Identificou-se, assim, que seria uma alternativa interessante apostar no consumo de energia eléctrica proveniente de fontes renováveis e na optimização do seu consumo.

No relatório de resultados, o projecto PCF concluiu que as normas ISO 14040:2006 e 14044:2006 e a metodologia PAS 2050:2008 proporcionam uma base sólida para o cálculo da pegada de carbono do produto, tendo o cuidado de contabilizar todas as emissões de GEE ao longo do ciclo de vida do produto. Foi reconhecido que o cálculo da pegada de carbono do produto auxilia na identificação de oportunidades de redução de emissões ao longo do ciclo de vida do produto,

permite otimizar a estratégia energética e climática da empresa e contribui para uma tomada de consciência de todos os intervenientes, desde operadores, fornecedores até aos altos quadros.

Como recomendações para estabelecer uma norma internacional, os participantes do projecto PCF referem, por exemplo, que é necessário uniformizar as regras de alocação, fomentar a utilização de energias renováveis, determinar um factor de ponderação do potencial de aquecimento global das emissões de GEE resultantes do tráfego aéreo e desenvolver regras por categorias de produtos.

Quanto à comunicação ao consumidor, o projecto PCF aponta que o documentar de forma transparente, consistente, com integralidade e exactidão a quantificação das emissões é o alicerce fundamental para desenvolver um rótulo, ou qualquer outro tipo de impressão na embalagem, capaz de informar o consumidor de forma clara e inequívoca.

5.2.3. Abordagens para criar normas internacionais

A comunidade industrial apelava ao desenvolvimento de um método consistente para avaliar e quantificar internamente as emissões de GEE de bens e serviços ao longo do seu ciclo de vida, que permitisse avaliar designs alternativos de produtos, alterações no processo produtivo, introdução de novas matérias-primas, e que facultasse uma melhor compreensão das emissões do produto por parte do consumidor final, permitindo-lhe tomar decisões objectivas de aquisição e utilização. Tentando colmatar esta lacuna e fomentar a chamada economia de baixo carbono, o Department for Environment, Food and Rural Affairs (Defra) e o Carbon Trust, em estreita colaboração e supervisão com o British Standards Institution (BSI), inicializaram em 2007 o desenvolvimento de um método que almeja ser aplicável a todo o tipo de organizações, independentemente da sua dimensão e do sector em que opera.

Surgiu, então, a metodologia PAS 2050:2008 – especificações para a avaliação das emissões de GEE de bens e serviços ao longo do seu ciclo de vida – e o guia PAS 2050:2008 – *“How to assess the Carbon Footprint of goods and services”* – que apresenta um caso prático de quantificação de pegada de carbono.

O método PAS 2050:2008, primeira metodologia desenvolvida para a normalização nacional e internacional, isto é, para a criação de princípios fundamentais e consistentes a aplicar transversalmente à enorme gama de produtos disponíveis no mercado, baseia-se nas metodologias estabelecidas pelas ISO 14040:2006 e 14044:2006, tendo sido publicada a sua versão final em Outubro de 2008, como indicado na figura 15. Este método foi criado para a elaboração de uma norma britânica, europeia ou internacional, está disponível gratuitamente para aplicação em projectos-piloto e será revisto com uma periodicidade não superior a dois anos.

Reconhecendo a dificuldade em desenvolver a almejada norma, outras iniciativas têm vindo a ser implementadas por diversos países. Em 2008, surgiram os primeiros passos para desenvolver duas novas abordagens, como indicado na figura 15, na perscrutação de normas internacionais para quantificar a pegada de carbono do produto, que prestem indicações precisas e amplamente utilizáveis aos vários sectores de actividades industriais

- a ISO 14067, em desenvolvimento pelo Comité Técnico para a Gestão Ambiental (TC 207) do International Organization Standardization, com conclusão prevista para 2011,
- orientações para a quantificação de emissões de GEE ao longo do ciclo de vida do produto, *GHG Protocol product accounting and reporting standard – Product Life Cycle Standard*, em desenvolvimento pelo *Greenhouse Gas Protocol Initiative*, com conclusão prevista para finais de 2010 [43].

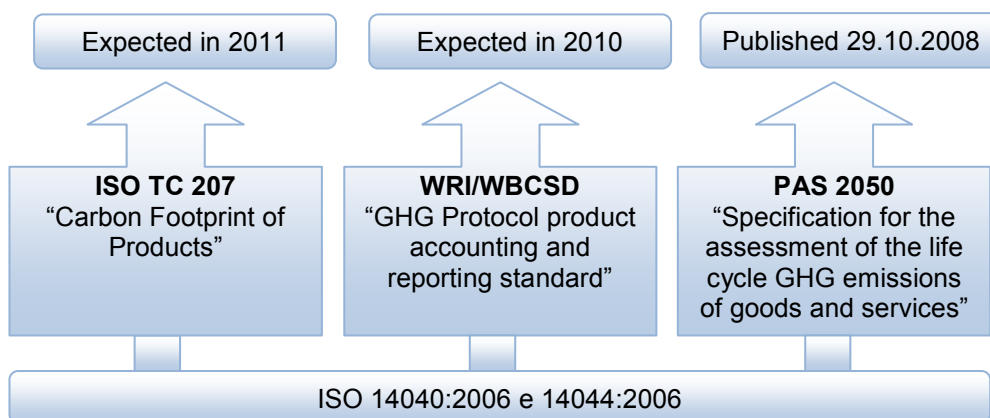


Fig. 15. Desenvolvimentos para criar normas internacionais para a quantificação da pegada de carbono [55].

5.3. Casos de estudo que contribuíram para a elaboração da metodologia PAS 2050:2008

A metodologia PAS 2050:2008 é baseada numa metodologia desenvolvida pelo Carbon Trust em estreita parceria com três organizações: a Boots (retalhista na área de produtos de beleza), a Walkers (produtora de batatas fritas) e a Innocent (produtora de bebidas e batidos de fruta natural). Era intuito das organizações quantificar a pegada de carbono de alguns produtos, desenvolver estratégias para mitigar as inerentes emissões de GEE, mediante a aplicação de soluções técnicas e de mudança de comportamentos de colaboradores e de fornecedores, e desenvolver rótulos de redução de GEE (*Carbon Reduction Label*).

A Boots seleccionou a gama de champôs Botanics e estudou diferentes cenários para analisar potenciais reduções de GEE e de custos. Concluiu que a inclusão de cerca de 30 % de plástico

reciclado nas embalagens conduziria a uma redução de 10 % da pegada de carbono do produto, e que uma reestruturação da rede de distribuição dos produtos iria resultar numa redução da pegada de carbono superior a 10 %. Uma distribuição directa aos pontos de venda eliminaria a necessidade de centros de distribuição e diminuiria as necessidades de embalagens cartonadas e plásticas. Após a implementação destas medidas, a pegada de carbono do champô foi reavaliada para 148 g_{CO₂e}. Pela figura 16 verifica-se que as matérias-primas (processos *cradle to gate*) são responsáveis por mais de 50 % da pegada de carbono da embalagem de champô [56]. Processos *cradle to gate* dizem respeito a processos que consideram todas as actividades que ocorrem até ao portão da organização, isto é, desde a extracção das matérias-primas, passando pela transformação das mesmas, até à expedição do produto para o cliente (outra organização ou cliente final).

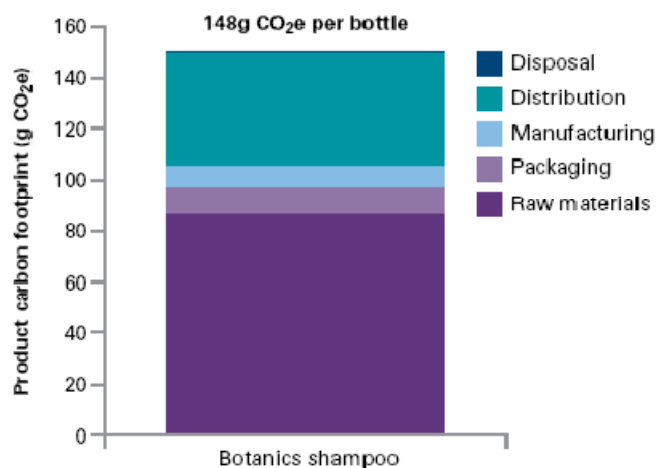


Fig. 16. Pegada de carbono do champô Botanics [56].

No entanto, a metodologia disponibilizada não considerava a fase de utilização do produto por parte do consumidor final. A Boots acreditava que era imprescindível quantificar as emissões decorrentes da fase de utilização do champô (emissões resultantes de valores médios de consumo de energia aquando a utilização do champô), e nesse sentido calculou uma nova pegada de carbono, ilustrada na figura 17. É notório a significativa quota-parte de responsabilidade da fase de utilização, a qual representa cerca de 93 % da pegada de carbono, comprovando a importância da inclusão da fase de utilização do produto pelo consumidor final na metodologia PAS 2050:2008.

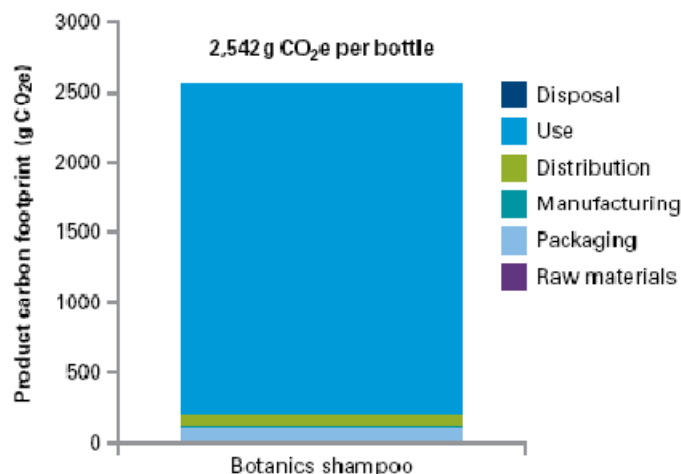


Fig. 17. Pegada de carbono do champô Botanics, considerando a fase de utilização [56].

A Walkers seleccionou como produto a analisar um pacote de batatas fritas e considerou que não seria necessário incluir na quantificação da pegada de carbono a fase de utilização, atendendo que o armazenamento e consumo de batatas fritas não implicam consumo energético e inerentes emissões de GEE. A figura 18 demonstra que os processos *cradle to gate* das matérias-primas (batatas, produção de girassol e sua secagem) são os que mais contribuem para a pegada de carbono, quantificada em 75 g_{CO₂e}/pacote. Tal indicação despoletou uma série de iniciativas perante os seus fornecedores para identificar os seus *hotspots* e, assim, proceder à redução de emissões de GEE.

Em relação ao processo produtivo a Walkers trabalha, desde 2000, com o Carbon Trust para fomentar a eficiência energética, tendo sido conseguida uma redução de consumo de energia superior a 30 % nas operações do ciclo produtivo [57].

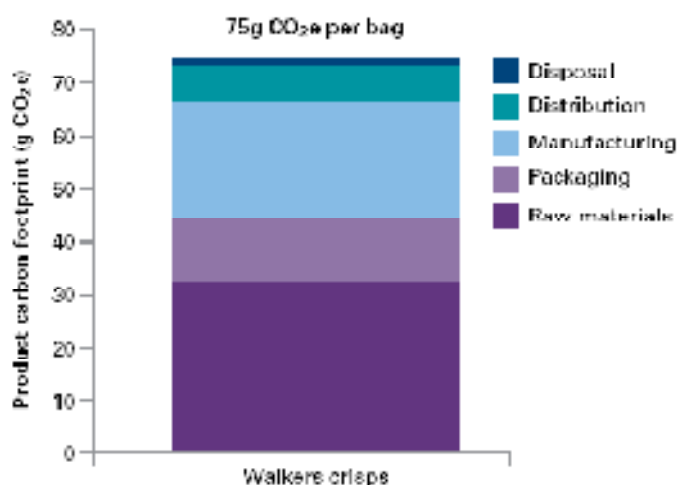


Fig. 18. Pegada de carbono de um pacote de batatas fritas [57].

5.4. Metodologia PAS 2050:2008

A metodologia PAS 2050:2008 é, actualmente, o único método *standard* publicado para a quantificação da pegada de carbono de um produto (bem ou serviço) ao longo do seu ciclo de vida, desde a extracção de matérias-primas, passando por todas as etapas do ciclo produtivo, pela distribuição e utilização, até à sua deposição final e/ou reciclagem.

As especificações PAS 2050:2008 permitem a comparação das emissões de GEE entre produtos, bem como a comunicação dos resultados obtidos. Contudo, é de ressaltar que a PAS 2050:2008 não especifica quaisquer requisitos para a comunicação da informação obtida após um estudo de pegada de carbono de um produto. As especificações conduzem a uma avaliação do ciclo de vida do produto alicerçada nos seguintes critérios:

- relevância – identificar fontes fidedignas onde recolher dados críveis e empregar métodos cientificamente reconhecidos;
- integralidade – incluir todas as emissões de GEE associadas ao sistema de produto a ser avaliado;
- consistência – de modo a ser possível estabelecer comparações entre produtos similares;
- exactidão – reduzir a incerteza tanto quanto possível;
- transparência – ao comunicar, divulgar informação suficiente para permitir a tomada de decisão por qualquer decisor que não esteja envolvido na avaliação do ciclo de vida do produto seleccionado.

É necessário compreender que quantificar a pegada de carbono de um produto ao longo do seu ciclo de vida é um processo que envolve vastos recursos e carece de uma relação estreita com fornecedores. A empresa conhece exhaustivamente o seu ciclo produtivo, mas para além das suas portas existe uma variabilidade de processos produtivos, de materiais e de vectores energéticos utilizados pelos seus fornecedores, que não estão directamente sobre a sua alçada.

O documento PAS 2050:2008 contempla somente a categoria de impacte ambiental potencial de aquecimento global (PAG) e não avalia outro tipo de impactes sociais, económicos ou ambientais decorrentes da disponibilização do produto no mercado.

A tabela 2 reúne vantagens/benefícios das especificações PAS 2050:2008 quer para as empresas quer para os consumidores.

Tabela 2. Benefícios da PAS 2050:2008 para as empresas e consumidores [58].

Benefícios PAS 2050:2008	
Empresas	Consumidores
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Avaliação interna das emissões de GEE ▪ Avaliação de designs alternativos de produtos ▪ Método sistemático para procurar técnicas adequadas e inovadoras (<i>benchmarking</i>) para mensurar e comunicar as reduções de emissões conseguidas ▪ Suporte para comparar emissões de GEE usando uma abordagem comum, padronizada e reconhecida ▪ Suporte para relatórios de sustentabilidade 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Confiança de que as emissões são quantificadas por uma metodologia robusta e padronizada ▪ Percepção de como as suas compras influenciam o impacto ambiental

As especificações PAS 2050:2008 podem ser utilizadas para avaliar as emissões do ciclo de vida de qualquer tipo de produto

- *Business-to-Consumer* (B2C) – consiste no comércio entre a empresa e o consumidor final (*cradle to grave*),
- *Business-to-Business* (B2B) – consiste no comércio entre a empresa fornecedora e a empresa cliente que utiliza o *output* da primeira como seu *input* (*cradle to gate*),
- Serviços.

A tabela 3 apresenta as principais diferenças entre as categorias de produtos enunciados.

Tabela 3. Principais diferenças entre os vários produtos, segundo o guia PAS 2050:2008 [58].

Estágio da pegada de carbono	B2C	B2B	Serviços
Unidade funcional do produto	Tamanho típico/quantidade vendida ao consumidor (exemplo, uma embalagem com 12 croissants)	Tamanho típico/quantidade vendida a outra empresa (cliente) (como por exemplo, 1 ton de farinha)	Serviço típico (exemplo, uma estadia de 1 noite num hotel)

	Inclui todos os estágios do ciclo de vida:	Inclui todos os estágios do ciclo de vida até à entrega ao cliente:	Varia consoante o tipo de serviço
Árvore de processo/ fronteira do sistema	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Matérias-primas ▪ Produção ▪ Distribuição ▪ Utilização ▪ Reciclagem/deposição final 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Matérias-primas ▪ Produção ▪ Entrega à porta do cliente 	Inclui todas as actividades, materiais, consumo de energia e resíduos

5.4.1. Definição do objectivo

O cálculo da pegada de carbono de um produto B2C segundo a metodologia PAS 2050:2008 pode ser realizado com vários intuitos. A pegada de carbono pode ser quantificada com o intuito de

- identificar *hotspots*, isto é, locais onde existem consideráveis consumos de energia e/ou picos de emissões de GEE e onde podem ser tomadas medidas para mitigar as referidas emissões,
- avaliar o resultado de eventuais medidas de mitigação de GEE mediante quantificações de pegada de carbono ao longo do tempo (antes e depois da implementação das medidas em causa),
- estabelecer comparações entre produtos substitutos e concorrentes (que desempenham funções equivalentes) e, assim, estabelecer parâmetros de diferenciação, que, numa situação limite, pode levar a empresa a decidir suspender a produção de um dos produtos em detrimento do outro e avaliar o comportamento do mercado.

O cálculo da pegada de carbono de um produto só pode ser efectuado após uma ACV alicerçada numa recolha de dados em fontes credíveis e consistentes, numa definição da fronteira do sistema, numa descrição e registo de todos os pressupostos ponderados e após uma verificação independente dos resultados obtidos.

A pegada de carbono do produto constitui, assim, uma ferramenta de apoio no delineamento da estratégia de marketing da empresa, isto é, na fidelização de clientes e/ou na penetração de novos mercados.

Após a verificação dos resultados, as informações podem ser divulgadas internamente ao nível da empresa que realizou o estudo e/ou ao nível da cadeia de abastecimento, ou seja, ao longo das várias empresas subsidiárias até chegarem à empresa mãe (caso da indústria automóvel) e externamente para o consumidor final.

5.4.2. Unidade funcional

Estando o produto seleccionado, o próximo passo consiste em apurar uma unidade funcional apropriada. A avaliação das emissões de GEE decorrentes do ciclo de vida de produtos deve ser realizada de modo a que a quantidade mássica de CO_{2e} possa ser reportada por uma unidade funcional de produto utilizado pelo consumidor. Quando um produto é disponível em embalagens de tamanho variável, o cálculo das emissões de GEE deve ser proporcional ao tamanho da unidade (por exemplo, por quilograma ou por litro de produto vendido).

A unidade funcional fornece uma base de comparação entre produtos e comunicação (se desejável) dos resultados e pode variar de acordo com o objectivo do estudo. Por exemplo, com vista a comunicar os resultados internamente à organização, pode-se utilizar uma unidade funcional diferente da utilizada para proceder à comunicação, presumivelmente por rotulagem, de resultados aos consumidores.

5.4.3. Fronteira do sistema

A fronteira do sistema define o âmbito da pegada de carbono do produto, isto é, define quais as fases do ciclo de vida, as entradas, as saídas que devem ser incluídas na avaliação.

A PAS 2050:2008 permite excluir emissões provenientes de qualquer fonte, desde que resultem numa percentagem inferior a 1 % quando comparadas às emissões totais. No entanto, o total de emissões consideradas irrelevantes não pode exceder 5 % do total das emissões da pegada de carbono do produto. A fronteira do sistema deve excluir o transporte do consumidor para adquirir o produto e a deslocação dos colaboradores de e para o local de trabalho [59].

A ISO TR 14025:2006 estabelece os princípios e procedimentos para o rótulo ambiental tipo III – Declarações Ambientais do Produto (EPDs). Uma EPD consiste num certificado integral para a divulgação de um conjunto de dados quantificados ao longo do ciclo de vida do produto, como os materiais e recursos utilizados, o consumo de energia e o impacte ambiental, baseados nos requisitos específicos para cada categoria de produto, *Product Category Rule* (PCR).

O PCR consiste num conjunto de regras específicas, requisitos e directrizes para grupos de produtos que cumprem a mesma função, mas que apresentam diferente desempenho ambiental. A título de exemplo, encontra-se em preparação um PCR para a categoria de produto “construção”, nomeadamente para edifícios. Ao delimitar a fronteira do sistema é necessário verificar se existe para o produto em análise uma categoria PCR, que, na eventualidade de existir, e se as condições de fronteira especificadas no PCR não entrarem em conflito com a fronteira definida no estudo, há que transpor as condições de fronteira do PCR para o estudo do produto

seleccionado. Caso o produto não esteja contemplado em nenhuma categoria, a fronteira do sistema deve ser definida atendendo aos critérios considerados nos seguintes grupos [60] [61]:

- matérias-primas;
- energia;
- processo produtivo e funcionamento das instalações;
- transporte;
- armazenamento;
- fase de utilização;
- reciclagem do produto;
- deposição final.

5.4.3.1. Matérias-primas

Relativamente às matérias-primas, devem ser considerados todos os processos de extracção, transformação, consumo de energia e emissões directas de GEE.

5.4.3.2. Energia

Devem ser consideradas as emissões de GEE associadas ao aprovisionamento e utilização de energia ao longo do ciclo de vida do produto. As emissões de energia incluem as seguintes emissões decorrentes do ciclo de vida da energia

- emissões no ponto de consumo (por exemplo, emissões resultantes da queima de gás natural) e as emissões ao longo da cadeia de abastecimento, incluindo a geração de energia eléctrica e energia térmica e emissões provenientes do transporte de combustível,
- emissões a montante (por exemplo, exploração mineira e transporte de combustível para a geração de electricidade),
- emissões a jusante (por exemplo, o tratamento de resíduos resultantes da geração de electricidade),
- cultivo e processamento de biomassa a utilizar como combustível.

O cálculo das emissões de GEE decorrentes do consumo de energia para Portugal é efectuado com base nos factores de emissões específicas presentes no Despacho n.º 17317/2008, Diário da República II, n.º 122, Junho 2008.

5.4.3.3. Processo produtivo e funcionamento das instalações

Nas emissões do ciclo produtivo incluem-se as emissões decorrentes das várias etapas do processo produtivo e as associadas à utilização de consumíveis. Consumíveis dizem respeito a entradas auxiliares necessárias à produção mas que não resultam numa porção tangível do produto. Os consumíveis podem incluir óleo de lubrificação para a maquinaria, ferramentas ou outros *inputs* no processo que apresentem uma diminuta durabilidade.

No funcionamento das instalações devem ser consideradas todas as emissões provenientes da iluminação, refrigeração, ventilação, controlo de humidade e outros tipos de controlo ambiental.

5.4.3.4. Transporte

Ao nível do transporte há que contabilizar as emissões provenientes de tráfego terrestre, aéreo, ferroviário, marítimo ou outro tipo de transporte que seja utilizado ao longo do ciclo de vida do produto. Quando os produtos são distribuídos para diferentes pontos de venda, como é o caso dos produtos de ornamentação de faiança, e na ausência de dados mais específicos, deve ser calculado um valor médio de emissões de GEE associadas ao transporte, valor este determinado consoante uma média de quilómetros percorridos em cada país para a inerente distribuição.

Deverão, também, ser consideradas as emissões decorrentes do transporte de matérias-primas, de consumíveis, de produtos e de subprodutos nas instalações da unidade industrial (transporte interno). Considera-se, ainda, o transporte de combustível, isto é, por exemplo, emissões provenientes da evaporação do combustível ao longo do *pipeline*.

Ressalve-se que, por exemplo, as emissões associadas ao controlo do ambiente num veículo refrigerado são contabilizadas no armazenamento e não no tópico em questão.

5.4.3.5. Armazenamento

Como parte integrante da avaliação de ciclo de vida, no armazenamento devem ser consideradas as seguintes emissões:

- resultantes do acondicionamento dos fluxos de entrada, incluindo as matérias-primas;

-
- provenientes do controlo ambiental, por exemplo, refrigeração, aquecimento e controlo de humidade;
 - decorrentes do armazenamento de produtos na fase de utilização;
 - resultantes do aprovisionamento do produto conforme ou não conforme antes da sua reutilização e/ou reciclagem.

5.4.3.6. Fase de utilização

Na fase de utilização do produto deve ser considerado o inerente consumo energético. Quando um produto é disponibilizado para diferentes segmentos de mercado, o factor de emissão a considerar na fase de utilização será a média ponderada entre os factores de emissão regulamentados para cada país e a quantidade de produto fornecido a cada segmento de mercado.

A PAS 2050:2008 refere que deve existir um perfil de utilização do produto, isto é, um método que delimite o início e o *terminus* da fase de utilização, e que este dever ser fundamentado segundo a hierarquia de fronteiras referidas seguidamente.

1. especificações da fase de utilização do produto em análise de acordo com as categorias do PCR;
2. normas internacionais que especifiquem a fase de utilização do produto a ser avaliado;
3. directrizes nacionais que especifiquem a fase de utilização do produto em análise;
4. directrizes a nível organizacional que especifiquem a fase de utilização do produto que está a ser avaliado.

Quando nenhum destes métodos estiver definido, cabe ao responsável pela quantificação da pegada de carbono do produto descrever e documentar a abordagem utilizada para definir e delimitar a fase de utilização do produto.

5.4.3.7. Reciclagem do produto

As emissões inerentes às actividades de reciclagem são contempladas num cálculo acessório que quantifica as emissões resultantes de um fluxo de material reciclável no processo.

A abordagem para o cálculo das emissões consequentes da reciclagem depende do tipo material (alumínio, vidro, plástico, etc.) e se o sistema de reciclagem é parte integrante do sistema de produto. Na reciclagem em ciclo fechado (*closed loop*) o produto/material é reintroduzido no

mesmo sistema de produto e na reciclagem em ciclo aberto (*open loop*) o produto/material é utilizado noutro sistema de produto. Em ambos os casos é necessário estudar com particular atenção os procedimentos de alocação, ou seja, a quota-parte de responsabilidade no impacto ambiental dos fluxos de material reciclado.

Quando existe reintrodução no processo produtivo de um fluxo de material proveniente do mesmo sistema de produto, há que especificar as emissões de GEE devido à parcela de material reutilizado no fluxo de material “virgem”,

$$\text{Emissões GEE} = (1 - R_1) \times E_V + R_1 \times E_R + (1 - R_2) \times E_D \quad (\text{Eq.1})$$

em que

R_1 representa a proporção de entrada de material reciclado,

R_2 representa a proporção do material que é reciclado no fim de vida do produto,

E_V diz respeito às emissões resultantes da entrada de material virgem por unidade de fluxo total de material,

E_R diz respeito às emissões resultantes da introdução de material reciclado por unidade de fluxo total de material,

E_D diz respeito às emissões resultantes da deposição final dos resíduos por unidade de fluxo total de material.

5.4.3.8. Deposição final

As emissões de GEE resultantes da deposição final do produto englobam, por exemplo, a deposição de resíduos em aterro e incineração.

No caso das emissões directas de GEE ocorrerem ao longo do tempo, como acontece mediante a deposição de resíduos alimentares em aterros sanitários, há que considerar o factor de PAG para o tempo médio de permanência na atmosfera de 100 anos, tendo em atenção a necessidade de aplicar um factor de ponderação que reflita a relevância da permanência dos GEE na atmosfera ao longo do referido período.

As emissões de deposição final que estiverem associadas a outras actividades, como por exemplo à combustão de resíduos de madeira, devem ser contabilizadas do seguinte modo:

- emissões de CO₂ inerentes aos resíduos – às emissões que provêm de carbono biogénico (provenientes da queima de biomassa) deve ser imputado um PAG de 0, às emissões que

provêm de carbono fóssil deve ser atribuído um PAG de 1;

- emissões de outros GEE inerentes aos resíduos – é necessário consultar os respectivos potenciais de aquecimento global.

5.4.4. Cálculo da pegada de carbono do produto

Identificam-se cinco etapas primordiais para o cálculo da pegada de carbono do produto, como ilustrado pela figura 19:

1. elaboração da árvore de processo – deve ser considerado o ciclo de vida do produto, desde as matérias-primas até à deposição final, incluindo todos os fluxos de materiais, energia e resíduos;
2. verificação da fronteira do sistema e identificação de processos prioritários – este passo pode conduzir à redefinição da árvore de processo;
3. recolha de dados – devem ser considerados todos os materiais, actividades e factores de emissão ao longo de todos os estágios do ciclo de vida do produto;
4. cálculo da pegada de carbono;
5. verificação da incerteza dos resultados (opcional) – corresponde à avaliação da precisão da análise da pegada de carbono.

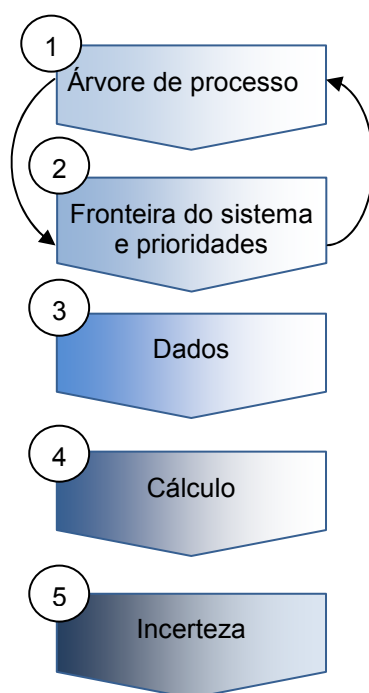


Fig. 19. Passos para calcular a pegada de carbono do produto [58].

5.4.4.1. Árvore de processo

Para a elaboração da árvore de processo é necessário identificar todos os materiais, actividades e processos que possam fazer parte integrante da análise de ciclo de vida do produto elegido.

A árvore de processo assume a função de guia, uma vez que funciona como um ponto de partida para a compreensão gráfica de todos os aspectos a considerar ao longo da vida do produto, para a recolha de dados e posterior cálculo da pegada de carbono.

Nesta etapa e após a definição da unidade funcional, deve proceder-se a um primeiro inventário, isto é, há que fazer um levantamento de todas as matérias-primas utilizadas e respectiva quantidade de acordo com a unidade funcional definida, listar as actividades de produção, de distribuição, de utilização e de fim de vida do produto (reciclagem e/ou deposição final).

A árvore de processo deve ilustrar, o mais exaustivamente possível, todas as entradas e saídas, até mesmo as saídas que correspondam às emissões que, no decorrer do cálculo da pegada de carbono, sejam desprezadas por apresentarem valor parcial insignificante (cerca de 1 %, quando comparado com o total de emissões de GEE).

5.4.4.2. Fronteira do sistema e áreas prioritárias

Em resultado da árvore de processo traçada, as fronteiras do sistema de produto podem ser redefinidas. Pode ser efectuado um cálculo estimativo com dados já disponíveis de modo a identificar e estabelecer como prioridade as áreas ou fontes onde se assinalem emissões significativas. Este passo permite direccionar recursos materiais e imateriais, evitando o seu emprego em situações que conduzam a valores inferiores a 1 % do valor global das emissões da pegada de carbono do produto.

5.4.4.3. Recolha de dados

Este terceiro passo consiste numa recolha detalhada de dados. Fundamentalmente existem dois tipos de dados necessários ao cálculo da pegada de carbono do produto:

- dados de actividade – referem-se a todas as quantidades de material e energia envolvidas no ciclo de vida do produto (fluxos de entrada e saída, consumo de energia, transporte, distribuição, etc.);
- factores de emissão – permitem estabelecer uma relação entre os dados de actividade e as emissões de GEE (por exemplo, $\text{kg}_{\text{CO}_2 \text{ e}}$ por kg de uma qualquer entrada ou por kWh

de energia consumida).

Os dados de actividade e os factores de emissão podem ser subdivididos em

- dados primários – directamente medidos ao longo do ciclo de vida do produto,
- dados secundários – medidas externas não específicas do produto obtidas a partir de outras fontes que não a medição directa nos processos envolvidos ao longo do ciclo de vida do produto (por exemplo, relatórios e/ou estudos da indústria, dados agregados de uma associação comercial, bases de dados de ACV disponibilizadas online pela plataforma da Comissão Europeia para análise de ciclo de vida, etc.).

5.4.4.4. Cálculo

A equação seguidamente apresentada demonstra como calcular a pegada de carbono do produto para cada actividade:

$$\begin{aligned} \text{Pegada de carbono para uma dada actividade} &= \text{dado de actividade} \\ &\times \text{factor de emissão} \end{aligned} \quad (\text{Eq.2})$$

A metodologia PAS 2050:2008 contempla a possibilidade de haver alterações no ciclo de vida do produto, isto é, há que considerar alterações planeadas (por exemplo, troca de fornecedor de uma matéria-prima) e/ou não planeadas na cadeia de abastecimento (por exemplo, dificuldade de um fornecedor entregar embalagens e a organização ter que recorrer a outro fornecedor, cuja produção de embalagens acarrete uma maior porção de emissões de GEE). No caso de alterações não planeadas, se estas incorrerem num aumento de emissões de GEE superior a 10 % e durante um período superior a 3 meses, há que voltar a quantificar a pegada de carbono do produto. O mesmo acontece se as alterações planeadas levarem a um aumento de pelo menos 5 % de emissões excedendo um período de 3 meses.

5.4.4.4.1. Cálculo do impacte médio ponderado de emissões GEE resultantes da fase de utilização e de deposição final a médio-longo prazo

As emissões decorrentes da fase de utilização e de deposição final a médio-longo prazo são denominadas de emissões “retardadas”. Aquando o cálculo das emissões em causa, é necessário considerar um factor de ponderação que permita avaliar o impacte das emissões atendendo ao

tempo médio ponderado de permanência das emissões na atmosfera durante o período de avaliação de 100 anos.

Quando as emissões resultantes da fase de utilização e/ou da deposição final ocorrem num único momento num intervalo de 25 anos após o fabrico do produto, o factor de ponderação (que designa o tempo médio ponderado de permanência das emissões de GEE na atmosfera) deve ter em conta o número de anos (t_0) entre o fabrico do produto e a emissão de GEE

$$\text{Factor de ponderação} = \frac{100 - (0,76 \times t_0)}{100} \quad (\text{Eq.3})$$

Salvaguardando as situações em que não se aplique a equação anterior, o factor de ponderação deve ser determinado pela seguinte relação

$$\text{Factor de ponderação} = \frac{\sum_{i=1}^{100} X_i \times (100 - i)}{100} \quad (\text{Eq.4})$$

em que X_i representa a proporção do total das emissões que ocorrem em cada ano i .

5.4.4.5. Incerteza dos resultados (opcional)

A análise da incerteza dos resultados obtidos na análise da pegada de carbono é um passo opcional que, embora não contemplado na versão pública do documento PAS 2050:2008, é abordado no guia para as organizações PAS 2050:2008 – *“How to assess the carbon footprint of goods and services”*, sendo recomendado o método estatístico de Monte Carlo. Este método permite quantificar a incerteza dos resultados das pegadas de carbono de produtos, criando desafios no que concerne à comparação entre dois ou mais produtos substitutos. Por exemplo, se a pegada de carbono de um dos produtos apresentar uma significativa incerteza comparativamente à verificada para o outro produto em análise, tal diminui a fiabilidade das eventuais decisões que possam ser tomadas quer pela empresa, quer pelo cliente final.

5.5. Comunicação da pegada de carbono do produto

O Carbon Trust e a Energy Saving Trust desenvolveram o código de boas práticas *Code of Good Practice for product GHG emissions and reduction claims*, alicerçado na metodologia PAS 2050:2008, o qual fornece indicações precisas para uma comunicação da pegada de carbono do produto credível, consistente, transparente e com informações que permitam uma tomada de decisão consciente por parte do consumidor.

A empresa pode pretender comunicar a pegada de carbono [62]

- como um valor único de emissões de GEE por unidade funcional,
- mediante a comunicação das emissões específicas por fase de ciclo de vida do produto,
- como resultados baseados em diferentes cenários de abastecimentos de matérias-primas, distribuição, utilização ou deposição final,
- como múltiplos resultados obtidos pela PAS 2050:2008 ao longo do tempo, isto é, antes e depois de medidas de redução de emissões de GEE.

Ressalva-se que o cumprimento das indicações do código não autoriza, por si só, a utilização do rótulo de pegada de carbono do Carbon Trust por parte da empresa. O Carbon Trust verifica a pegada de carbono do produto calculado pela empresa e posteriormente certifica-a, autorizando a empresa a comunicá-la, nomeadamente através de um rótulo – o *Carbon Reduction Label* (etiqueta de carbono).

5.6. A norma ISO 14044:2006 versus PAS 2050:2008

A tabela 4 sintetiza e compara as principais características da ISO 14044:2006 – Requisitos e orientações para Avaliação e Ciclo de Vida – e o documento britânico PAS 2050:2008 – Especificações para a avaliação das emissões de GEE ao longo do ciclo de vida de um produto.

Tabela 4. Principais diferenças entre a ISO 14044:2006 e o documento PAS 2050:2008.

Critérios	ISO 14044:2006	PAS 2050:2008
Aplicações	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Identificar oportunidades para fomentar o desempenho ambiental de produtos. ▪ Disponibilizar informações para os gestores. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Avaliar designs alternativos de produtos. ▪ Identificação de oportunidades de redução de emissões de GEE. ▪ Abordagem padronizada que facilita a comparação entre produtos substitutos.
Âmbito	Impactes ambientais determinados pela ACV	Todos os GEE considerados no 4º relatório do IPCC 2007
Fronteira do sistema	Delimitada de forma subjectiva e deve ter em conta o produto em estudo.	<p>1. Verificar se existe uma categoria relevante do <i>Product Category Rule</i> (PCR).</p> <p>2. Caso não exista PCR, definir e explicitar a fronteira de acordo com o produto em estudo.</p>
Fontes de dados	Não específica a relevância de utilizar dados primários ou secundários.	São indispensáveis dados primários para todos os processos da organização. Na impossibilidade de recolher dados primários devem ser utilizados dados secundários.
Alocação	<p>1. Deve ser evitada mediante a divisão do processo ou através da expansão do sistema.</p> <p>2. Se não for possível aplicar o passo 1, devem ser alocadas as relações físicas entre produtos (massa, energia) aos vários fluxos de entrada e saída do sistema em estudo. Caso tal não seja exequível, devem ser utilizadas factores económicos.</p>	<p>1. Alocação de co-produtos ou subprodutos é evitada dividindo os processo unitários em subprocessos ou expandindo o sistema do produto.</p> <p>2. Se o passo 1 não for aplicável, a alocação deve ser efectuada de acordo com factores económicos.</p> <p>3. Estão incluídos processos adicionais de alocação a partir de fontes específicas incluindo energias renováveis, resíduos e transporte.</p>

<p>Redução de emissões de GEE</p>	<p>Não especificado</p>	<p>O código de boas práticas (<i>Code of Good Practice for product GHG emissions and reduction claims</i>) estabelece os requisitos para reivindicar a redução de emissões de GEE do produto ao longo do tempo (por exemplo através da redução certificada de emissões contemplados no mecanismo de desenvolvimento limpo do protocolo de Quioto).</p>
<p>Alteração de utilização do solo</p>	<p>Não especificado</p>	<p>Inclui emissões provenientes da utilização do solo e especifica alguns valores padrão para alguns países (ton CO₂/ha/ano) para a alteração do uso do solo.</p>
<p>Armazenamento de Carbono biogénico</p>	<p>Não especificado</p>	<p>Inclui o impacto do armazenamento de carbono (por exemplo fibras celulósicas constituintes de uma mesa de madeira) e especifica o respectivo método de cálculo.</p>
<p>Geração de energia eléctrica a partir de energias renováveis</p>	<p>Não especificado</p>	<p>Aborda o fornecimento de energia eléctrica que provém de energias renováveis. As emissões provenientes da produção de electricidade a partir de biomassa devem considerar as emissões associadas ao uso do solo, à colheita, ao processamento e transporte da biomassa.</p>

5.7. Software para ACV

Atendendo aos vários processos *cradle to gate* que constituem o sistema de um produto ou organização, do volume de dados que é necessário recolher e analisar e inerentes recursos a disponibilizar para efectuar uma ACV, desenvolveram-se softwares que coadjuvassem a análise de ciclo de vida.

Estes pretendem agilizar a realização do estudo, principalmente na análise do inventário, permitindo o processamento dos dados de forma mais fácil, célere e imparcial. Permitem modelar e analisar os mais complexos ciclos de vida de uma forma sistemática e transparente, garantindo cálculos de maior confiança e dando origem a relatórios mais consistentes. Entre as ferramentas mais utilizadas destacam-se o SimaPro e o GaBi.

O SimaPro, desenvolvido em 1990 pela empresa holandesa PRé Consultants, permite recolher, analisar e monitorizar o desempenho ambiental de produtos (bens e serviços), processos e possui um inventário completo na forma de base de dados de materiais e processos associados a instrumentos de cálculo de impactes ambientais [63].

O software alemão GaBi, desenvolvido em 1992 pela empresa PE INTERNATIONAL, permite conduzir uma ACV com o intuito de contabilizar as emissões para o ar, solo e água e, caso seja relevante para o estudo pretendido, proceder a uma análise comparativa entre balanços de impactes e custos ambientais de produtos e serviços em estudo.

O Gabi 4.3 permite elaborar diagramas de *Sankey*, isto é, planos que consistem na representação de árvores de processos dos sistemas a estudar, atendendo às fronteiras predefinidas. Em cada plano são visíveis os processos que ocorrem ao longo do ciclo de vida do produto, permitindo uma visualização rápida dos vários fluxos que os constituem. Os fluxos de entrada e/ou saída de cada processo de um plano podem ser definidos em termos de massa, energia e custos associados.

Trata-se de um software que, para além de incluir uma ampla base de dados de processos *cradle to gate* para uma ampla gama de matérias-primas, de dados na área de energia, do transporte, da deposição final, etc., permite, ainda, ao utilizador, de forma sistemática, complementá-la, através da introdução de dados (primários ou secundários) relativos a processos não contemplados na base de dados original [64].

O Gabi 4.3 permite realizar um balanço do(s) plano(s) traçado(s) dos *inputs* e *outputs* de cada processo ao longo do ciclo de vida do produto e possibilita uma quantificação da pegada de carbono do produto mediante a PAS 2050:2008. O software, faculta uma análise detalhada da categoria de impacto ambiental efeito de estufa, identificando, assim, *hotspots* no sistema delimitado. Possibilita ao operador observar de uma forma rápida e simples quer os valores do ICV quer da AICV. Contempla, ainda, a possibilidade de realizar uma análise de consistência entre

todos os fluxos mássicos e energéticos dos processos, facultando ao utilizador indicações precisas para localizar eventuais interrupções de fluxos.

6. Caso de estudo

A unidade industrial da Faianças J. Barreiro, Lda., com sede em Casalinho, Alcobaça, iniciou a sua actividade a 3 de Dezembro de 1992 e tem como sector de actividade, segundo a Classificação Portuguesa das Actividades Económicas (CAE, revisão de 2007), o fabrico de artigos cerâmicos de ornamentação de faiança e grés fino (CAE 23413). A totalidade da sua produção (jarras, copos, pratos e vasos decorativos, castiçais, etc.) é destinada ao mercado externo.

6.1. Caracterização da empresa

6.1.1. Consumos de energia primária

A unidade industrial não está abrangida pelo SGCIE (abordado no capítulo 2), uma vez que o consumo de energia primária não ultrapassa os 500 tep/ano. No entanto, é notório o acréscimo de consumo de energia primária, uma vez que em 2007 se consumiram 335,42 tep e em 2008, 396,51 tep.

No que concerne à distribuição da estrutura de consumos, a figura 20 ilustra que a grande “fatia” se deve ao consumo de gás natural, representando 83 % e 85 % dos consumos energéticos para o ano de 2007 e 2008, respectivamente.

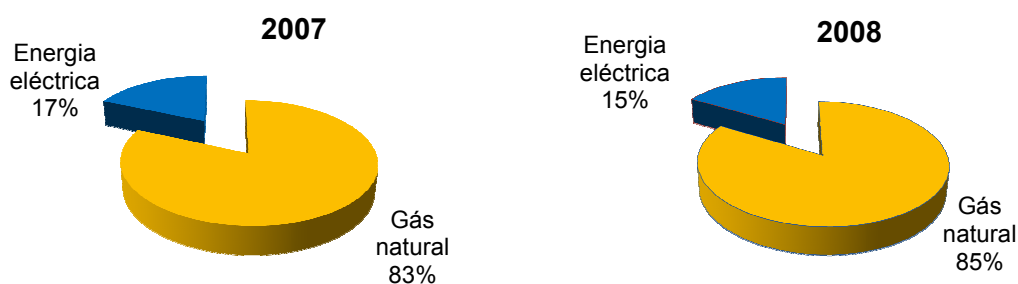


Fig. 20. Estrutura dos consumos relativos à energia primária para os anos de 2007 e 2008.

As figuras 21 e 22 representam a evolução dos consumos dos vectores energéticos utilizados pela empresa face à produção obtida para 2007 e 2008, respectivamente.

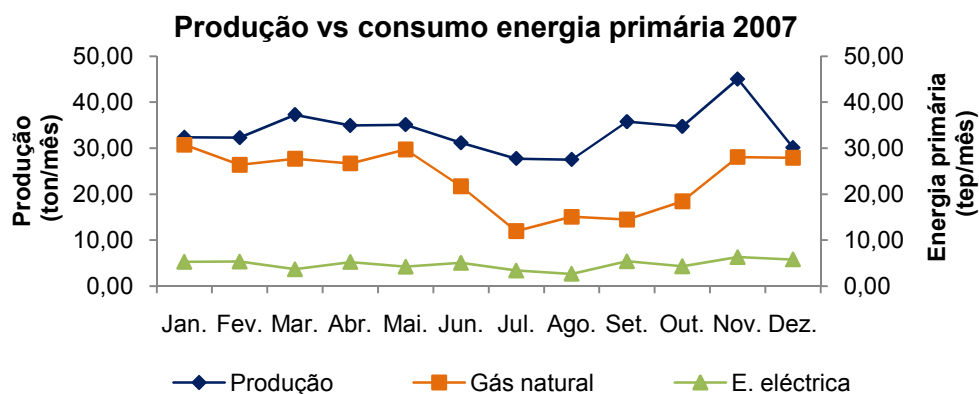


Fig. 21. Evolução da produção face ao consumo de energia primária para o ano de 2007.

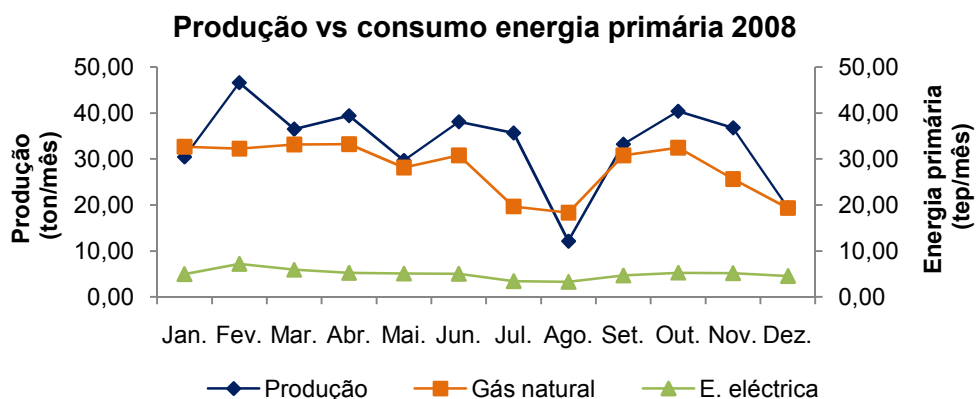


Fig. 22. Evolução da produção face ao consumo de energia primária para o ano de 2008.

6.1.2. Consumo específico de energia (CEE)

Relativamente ao indicador de intensidade energética CEE, obteve-se um valor de 0,830 tep/ton para o ano de 2007 e de 0,995 tep/ton para 2008.

O Decreto-Lei n.º 58/82, de 26 de Fevereiro, criou o Regulamento de Gestão do Consumo de Energia (RGCE), em que o consumo específico de referência (k) para o fabrico de louça decorativa de faiança era de 0,420 tep/ton. O Decreto-lei n.º 71/2008, de 28 de Abril, revoga o Decreto-Lei n.º 58/82, substituindo-se assim o RGCE pelo Sistema de Gestão dos Consumos Intensivos de Energia (SGCIE). Atendendo a que o SGCIE não contempla valores de consumos específicos de referência para os vários sectores de actividade procede-se, meramente a título indicativo, à comparação do k com os CEE determinados para a empresa em análise. Compreende-se então a necessidade de promover a diminuição da intensidade energética, conduzindo assim a um decréscimo das emissões de GEE. Neste sentido, a quantificação da pegada de carbono do produto surge como uma abordagem a seguir.

6.1.3. Processo produtivo

No processo produtivo de faiança predominam cinco operações essenciais: preparação da barbotina, conformação, acabamento, tratamento térmico e vidragem. A figura 23 representa o processo produtivo da Faianças J. Barreiro, Lda., explicitando-se, de seguida, cada etapa do referido processo.

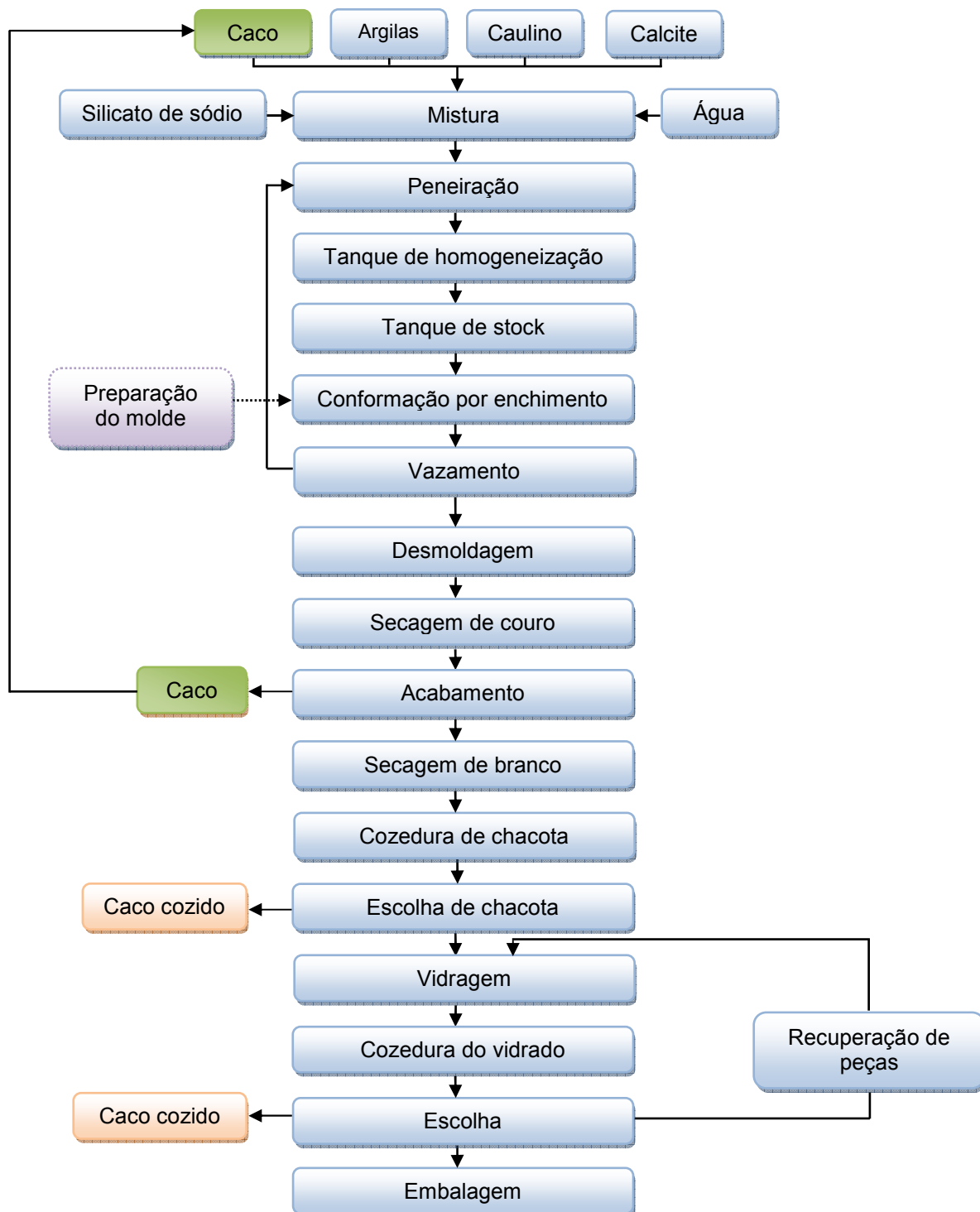


Fig. 23. Representação esquemática do processo produtivo.

6.1.3.1. Preparação da barbotina

O processamento cerâmico da empresa apresenta como ponto de partida a recepção e armazenamento das matérias-primas – caulino, calcite, argilas (branca e negra), sílica e caco (peças defeituosas resultantes do processo produtivo antes de ocorrer tratamento térmico) – para a preparação da barbotina (partículas sólidas dispersas num líquido), figura 24 a).

Com o objectivo de obter uma barbotina (pasta) homogénea, uniforme, suficientemente reactiva e na forma física mais adequada à conformação por enchimento, as matérias-primas são doseadas num silo e inseridas num diluidor-misturador, na presença de água e do agente de desfloculação (silicato de sódio), figura 24 b). A pasta resultante é peneirada, figura 24 c), e enviada para o tanque de homogeneização, figura 24 d), onde se junta à barbotina remanescente do enchimento, já peneirada, proveniente do tanque de retorno, na proporção de 1:3. A barbotina é então enviada para o tanque de stock com agitação lenta permanente.



Fig. 24. Preparação da barbotina: a) matérias-primas, b) silo, c) peneiro, d) tanque de homogeneização.

6.1.3.2. Conformação por enchimento

O processo de enchimento permite conformar peças de qualquer configuração, de simples a complexas, mediante a utilização dos moldes. Estes são colocados em bancadas que apresentam um sistema de tubos em que circula água quente (a cerca de 60 °C) em circuito fechado que, para além de servirem de suporte aos moldes, permitem a sua secagem, como ilustrado na figura 25.

As etapas do ciclo de conformação por enchimento são as seguintes:

- Enchimento do molde com barbotina – a pasta proveniente do tanque de stock é enviada

para os tanques de alimentação. Por gravidade, evitando a incorporação de ar, procede-se ao enchimento do molde com a barbotina.

- Formação da parede e vazamento – por efeito de sucção capilar, uma parte do líquido da barbotina escoar-se para o molde a forma-se um depósito de partículas sólidas junto à parede do molde, figura 25 a). Quando a peça adquire a espessura de parede adequada, procede-se ao vazamento da barbotina remanescente, figura 25 b), que é encaminhada para o tanque de retorno.



Fig. 25. Preparação da barbotina: a) formação da parede, b) vazamento do excesso de barbotina.

- Endurecimento no molde – consiste no endurecimento da peça conformada de modo a garantir que esta adquira resistência mecânica para que seja manuseada.
- Desmoldagem – é a remoção da peça do molde, como ilustrado na figura 26.



Fig. 26. Desmoldagem.

6.1.3.3. Secagem de couro

Após a desmoldagem da peça, esta não apresenta a consistência adequada que permita o seu manuseamento sem ocorrência de deformações, tornando-se, assim, necessária a secagem de couro. Esta secagem não carece de qualquer ambiente controlado, tendo lugar na linha de produção durante cerca de 30 minutos, em que as peças adquirem uma consistência comparável ao couro (facilmente riscadas pela unha) para posterior manuseamento na fase de acabamento.

6.1.3.4. Acabamento

Na operação de acabamento a peça é rebarbada, sujeita a uma secagem intermédia e por fim esponjada. A rebarbagem, figura 27 a), consiste na remoção das rebarbas dos bordos das peças; irregularidades resultantes da rebarbagem são posteriormente eliminadas com uma esponja húmida, figura 27 b). Para facilitar o processo de acabamento as peças são acabadas em tornilhos.



Fig. 27. Acabamento: a) rebarbagem, b) esponjagem.

6.1.3.5. Secagem de branco

A secagem de branco (as peças secas adquirem a cor branca) é efectuada, durante cerca de 12 horas numa estufa, para que as peças alcancem a humidade relativa adequada para que não sofram danos devido ao aumento brusco da temperatura durante a cozedura.

6.1.3.6. Cozedura de chacota (1ª cozedura)

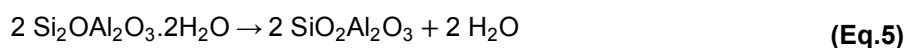
Após a secagem de branco as peças são enforadas, isto é, colocadas em vagonetas e submetidas a uma primeira cozedura (chacota), figura 28. As vagonetas são constituídas por um chassi metálico em que assenta toda a mobília de enfora (estrutura refractária, nomeadamente os tijolos refractários, as placas de coordierite e os prumos, isto é, os suportes das placas).



Fig. 28. Cozedura de chacota.

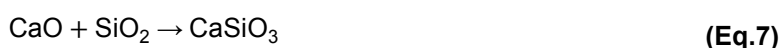
O ciclo de tratamento térmico – que consiste num período de aquecimento, num patamar à temperatura máxima e num arrefecimento controlado – permite obter peças com uma estrutura porosa controlada e com a resistência adequada à sua manipulação no processo de vidragem. O processo de cozedura depende das variáveis temperatura e tempo a que o material é sujeito, variáveis estas determinantes no processo de sinterização. [65] Se, por um lado, se devem respeitar as temperaturas de activação para as diferentes reacções, por outro, deve ter-se em conta o tempo necessário para que as reacções atinjam o grau de extensão pretendido.

Durante a cozedura, os artigos cerâmicos sofrem expansões e contracções reversíveis e irreversíveis, devidas ao aquecimento e arrefecimento. Por exemplo, o quartzo transforma-se reversivelmente a 573 °C, enquanto a caulinite (constituente principal do caulino) se decompõe, entre 500-650 °C, irreversivelmente em metacaulino e com relativa libertação de água de cristalização [66]



Deste modo, no final do tratamento, a peça cerâmica apresenta dimensões inferiores às iniciais.

A cerca de 900 °C ocorre a decomposição do carbonato de cálcio (calcite – CaCO_3) em óxido de cálcio (CaO) e CO_2 . Este CaO é, então, combinado com a sílica (SiO_2) com formação do metasilicato de cálcio – reacção de sinterização [66].



Um ciclo de cozedura (frio a frio) tem a duração aproximada de 8 horas, sendo atingida uma temperatura máxima da ordem dos 1100 °C.

6.1.3.7. Escolha de chacota

Antes de seguirem para o processo de vidragem, as peças são alvo de uma escolha visual. As peças de chacota defeituosas (caco cozido) seguem para a indústria cimenteira.

6.1.3.8. Vidragem

Na operação de vidragem, as peças de chacota são cobertas com uma camada de vidrado, que funde durante a cozedura e confere à superfície das peças características de impermeabilidade, brilho, resistência à abrasão e resistência química. A aplicação do vidrado consiste numa técnica manual em que a peça é mergulhada na suspensão de vidrado pretendida (suspensão aquosa de sólidos), como ilustrado na figura 29. Posteriormente, as peças passam num limpa-fretes (um tapete de esponja humedecida) a fim de eliminar a superfície da peça que estará em contacto com as placas refractárias.



Fig. 29. Vidragem por mergulho.

6.1.3.9. Cozedura do vidrado

As peças vidradas e decoradas são sujeitas a novo tratamento térmico, a uma temperatura máxima inferior à chacota, na ordem dos 1080 °C, de modo a que a suspensão de vidrado funda e adira de forma definitiva ao artigo cerâmico, figura 30.



Fig. 30. Cozedura do vidrado.

6.1.3.10. Escolha e embalagem

Após a cozedura do vidrado, as peças são escolhidas de acordo com critérios estéticos e parâmetros dimensionais (dimensões e deformações). As não conformes que são possíveis retocar vão novamente ao forno, enquanto o caco cozido segue para a indústria cimenteira. As peças conformes são etiquetadas, figura 31 a) e embaladas, figura 31 b).



Fig. 31. Escolha e embalagem: a) etiquetagem, b) embalagem.

6.1.3.11. Preparação do molde

A secção de modelação, consoante a peça a produzir, cria um modelo em gesso (sulfato de cálcio di-hidratado, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). A partir deste é obtido a primeira forma do modelo, a partir do qual se obtém o seu negativo, vulgarmente designado por madre (positivo da peça). A partir da madre, obtêm-se os moldes de trabalho, que permitem produzir os objectos por enchimento.

6.1.3.12. Estação de tratamento de águas residuais (ETAR)

O tratamento de águas residuais é realizado numa zona exterior à unidade fabril e é composto pelas seguintes etapas: uma homogeneização do efluente; adição de agentes de floculação, de modo a favorecer a formação de agregados de partículas (flocos) e consequente filtroprensagem das lamas. Estas seguem para a indústria cimenteira e a água reaproveitada no processo.

6.2. Pegada de carbono do produto B2C

Estando a Faianças J. Barreiro Lda. ciente da premência de actividades que fomentem a sustentabilidade económica, ambiental e social da empresa e atendendo a que a PAS 2050:2008 é, presentemente, o único método *standard* publicado para a quantificação da pegada de carbono de um produto, é desígnio deste caso de estudo quantificar a pegada de carbono de uma peça cerâmica de ornamentação, respeitando as directrizes da referida metodologia.

6.2.1. Produto seleccionado e definição do objectivo

Como objecto de estudo, seleccionou-se a peça cerâmica produzida pela Faianças J. Barreiro, Lda. ilustrada na figura 32. O vaso de ornamentação em questão tem de dimensões 10×10×10 cm, apresenta uma massa final de 0,417 kg, pertence à linha “Quadro” e tem como referência de produção e de expedição para a plataforma logística o número 4601005, em que o 005 identifica a cor da peça – branco. A linha “Quadro” engloba a gama de peças produzidas de acordo com o processo produtivo explicitado anteriormente, com geometria semelhante mas de dimensões diferentes.

Seguidamente explicitar-se-á a abordagem utilizada para avaliar a pegada de carbono da peça com o apoio do software Gabi 4.3.



Fig. 32. Objecto de estudo, peça cerâmica, para o cálculo da pegada de carbono.

6.2.2. Unidade funcional

Tendo presente que a unidade funcional deve reportar-se ao modo como a peça é utilizada, o estudo em causa tem como unidade funcional a peça cerâmica acima referida, ou seja, 0,417 kg de peça cerâmica. Tal significa que todos os dados primários e secundários inseridos no Gabi 4.3 são relativos à unidade funcional apresentada. Importa mencionar que devido às características do

processo produtivo, a massa enunciada para a peça é uma quantidade mássica média que pretende ser representativa para qualquer peça de referência 4601005.

6.2.3. Fronteira do sistema

Uma vez que para a peça cerâmica em estudo não existe fronteira do sistema delimitada segundo o PCR, desenvolvido em conformidade com a norma britânica ISO 14025:2006, procedeu-se à delimitação da fronteira do sistema conforme indicado na figura 33, e atendendo às indicações descritas seguidamente.

- **Matérias-primas** – foram considerados os processos *cradle to gate* para as matérias-primas (argila branca, argila negra, calcite, caulino, areia de sílica e silicato de sódio) e inerentes consumos energéticos e emissões directas de GEE.
- **Energia** – foram considerados os processos *cradle to gate* e resultantes consumo dos vectores energéticos e emissões de GEE para os subsistemas:
 - produção de energia eléctrica;
 - gás natural;
 - produção de gasóleo.
- **Processo produtivo e funcionamento das instalações** – no processo produtivo consideraram-se todas as emissões decorrentes das várias etapas do ciclo produtivo (quer do consumo de energia quer atendendo às próprias características do ciclo produtivo); no funcionamento das instalações da unidade fabril foram consideradas todas as emissões procedentes da iluminação, das actividades administrativas, do aquecimento, ventilação e ar condicionado (AVAC), bem como as emissões resultantes do consumo de energia eléctrica na estação de tratamento de águas residuais (ETAR).
- **Processos auxiliares ao processo produtivo** – atendendo à disponibilização de dados por parte dos vários fornecedores envolvidos na produção do artigo cerâmico, foram considerados os processos de extracção, transformação, consumo energéticos e emissões de GEE para os seguintes processos, salvo indicações em contrário:
 - preparação do molde;
 - produção de embalagem, isto é, caixa cartonada não branqueada para expedição de produto (para este subsistema não foram considerados os consumos energéticos inerentes à produção da embalagem);
 - preparação do vidrado (o vidrado branco é adquirido já preparado e atendendo à indisponibilidade do fornecedor, apenas foi considerado como parte integrante do

sistema em estudo o transporte do fornecedor para a Faianças J. Barreiro, Lda.).

- **Transporte** – foram contabilizadas as emissões provenientes quer de tráfego terrestre como de transporte interno no monta-cargas e as de transporte de gás natural por *pipeline* desde Sines até às instalações da empresa. À data do presente estudo, as peças cerâmicas eram expedidas para a plataforma logística na Alemanha para posteriormente serem enviadas para Portugal para disponibilização ao cliente. Na impossibilidade de recolher a respectiva listagem e tendo referenciado dois pontos de venda, foi calculado um valor médio de emissões de GEE consoante a média de quilómetros percorridos.
- **Armazenamento** – quanto ao acondicionamento de matérias-primas e aprovisionamento do produto na unidade fabril, não foi identificada qualquer fonte de emissão de GEE, assim como não foram inventariadas quaisquer condições de controlo ambiental.
- **Fase de utilização** – na ausência da definição de um perfil de utilização para o produto em análise segundo indicações da PAS 2050:2008, considerou-se que a fase de utilização diz respeito ao período em que a peça é utilizada para ornamentação, não estando associado qualquer consumo energético e/ou emissões de GEE ao longo desse tempo.
- **Reciclagem em circuito fechado (*closed loop*)** – é considerada a reintrodução da barbotina remanescente e do caco no processo produtivo.
- **Deposição final** – considera-se que as emissões resultantes do transporte de caco cozido para a indústria cimenteira, e posterior utilização como matéria-prima devem ser consideradas na análise de ciclo de vida do produto obtido na indústria cimenteira. Tendo como pressuposto que existe separação de resíduos e que a peça cerâmica tem como destino final a co-incineração na indústria cimenteira, as emissões resultantes da queima devem ser consideradas aquando a quantificação da pegada de carbono do produto resultante da indústria cimenteira. Excluem-se, assim, da fronteira do sistema os processos “Caco para indústria cimenteira” e “Deposição final”.

A fronteira do sistema exclui, ainda, segundo directrizes da PAS 2050:2008 o transporte do consumidor para adquirir o produto e a deslocação dos colaboradores de e para o local de trabalho [59].

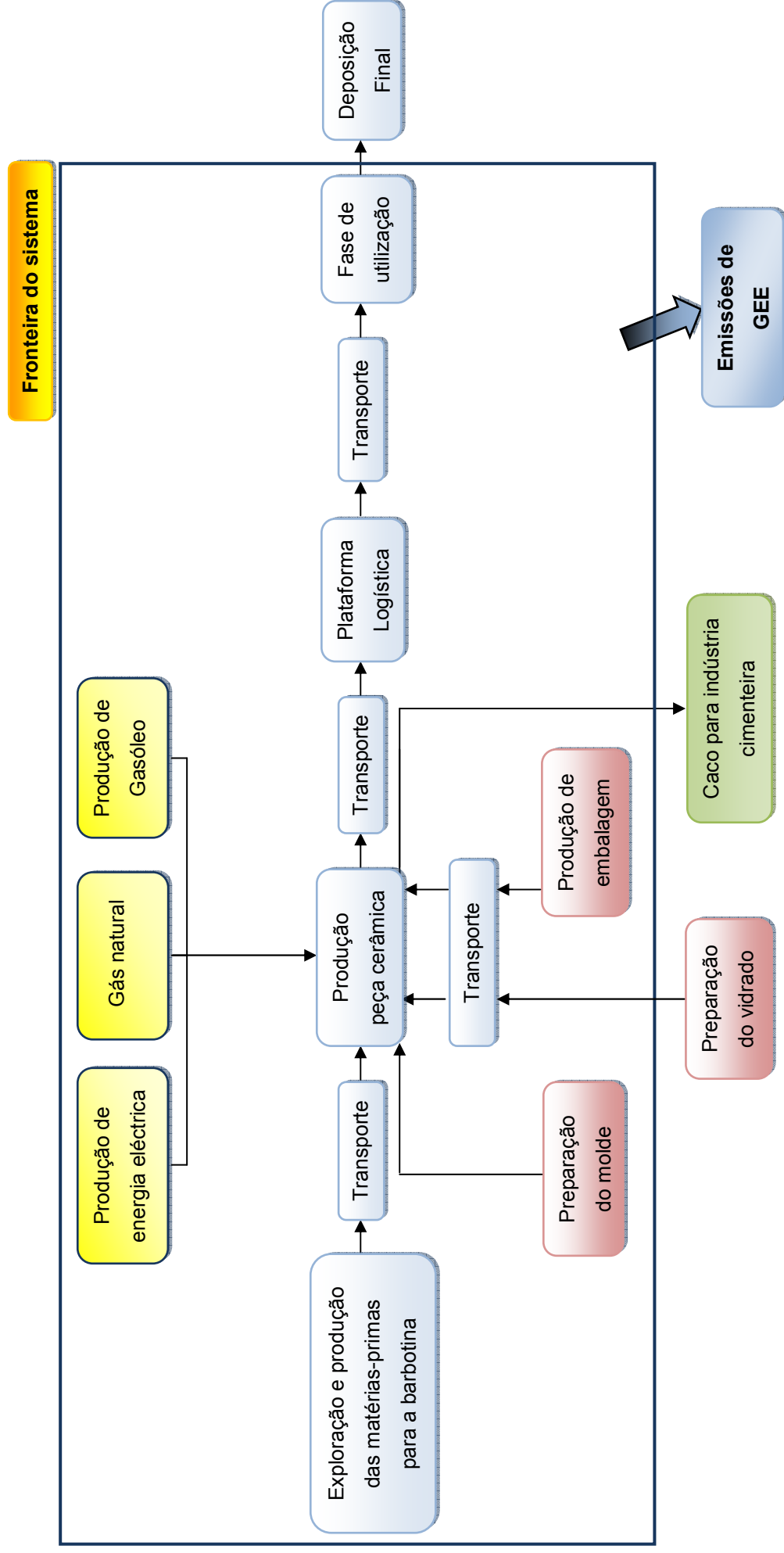


Fig. 33. Fronteira do sistema em estudo.

6.2.4. Árvore de processo

A árvore de processo, ilustrada pela figura 34, foi elaborada após a compreensão do ciclo produtivo e de todas as actividades auxiliares à produção da peça, da identificação dos *stakeholders* envolvidos, da definição da unidade funcional e da fronteira do sistema. Esta pretende detalhar, exaustivamente, todos os processos e fluxos dos quais resultem emissões de GEE, de modo a auferir resultados credíveis, que retratem fielmente a realidade e que possam ser comunicados ao consumidor final.

Após a elaboração da árvore de processo, e tendo sempre presentes a unidade funcional já definida e a fronteira do sistema definida e verificada, foi efectuado um levantamento de todas as matérias-primas utilizadas e respectivas quantidades, dos vectores energéticos e inerentes consumos e emissões de CO₂e, bem como da frota de transporte utilizada.

No que concerne aos consumos energéticos, foi imperativo utilizar uma metodologia que permitisse quantificar o consumo dos vectores energéticos e emissões de GEE no processo produtivo da peça. Durante o processo produtivo não se observou e registou a produção de qualquer co-produto. Aquando a utilização do produto, como já mencionado, não se regista consumo energético.

6.2.5. Metodologia para o ciclo produtivo – Consumos energéticos e emissões do processo produtivo

Após o reconhecimento e avaliação da instalação fabril *in loco* e perante a ausência de um sistema de monitorização, por etapa de produção, que permita medir o consumo de energia decorrente da produção da peça cerâmica estudada, aplicou-se a metodologia que seguidamente se explana [67].

Considerando factores de energia por unidade de massa, volume ou pela mera existência da peça objecto de estudo, foi determinada uma fórmula de cálculo a partir da análise do ciclo produtivo e mediante a recolha das seguintes informação base, dados primários, referente ao ano de 2008:

- **facturas energéticas** – gás natural e energia eléctrica (tabela A.1);
- **produção da empresa** – produção expedida e número de peças vendidas (tabela A.1);
- **ensaios experimentais** – ensaios realizados para quantificar a massa e volume de peças cozidas por cada tratamento térmico e os consequentes consumos de gás natural (tabela A.2).

Os ensaios efectuados em contexto industrial nos fornos intermitentes adquirem extrema relevância para a metodologia desenvolvida, uma vez que o tratamento térmico representa a operação “chave” que permite as transformações imprescindíveis para a utilização final da peça e é o responsável pela maior fatia de encargos energéticos (as etapas de etapas de cozimento de chacota e vidrado são responsáveis por cerca de 79 % do consumo total de gás natural na unidade fabril).

Para quantificar o consumo energético associado à peça identificaram-se as duas variáveis de maior relevância para o estudo: massa ($m_{peça}$) final da peça cerâmica e volume ($V_{peça}$) final total ocupado pela peça (incluindo espaços ociosos interiores). Devido à variabilidade de geometrias, o volume da peça corresponde ao volume de um prisma quadrangular recto com igual área de base e altura da peça.

6.2.5.1. Produção corrigida

Em resultado da não ocorrência de ruptura do fluxo de peças na linha produtiva ao longo de um ano de laboração, e de modo a estabelecer uma relação efectiva entre a produção mensal efectivamente produzida e os encargos energéticos, foi desenvolvida a seguinte equação:

$$pc_i = pe_i - f \times pe_{i-1} + f \times pe_{i+1} \quad (\text{Eq.8})$$

onde pc_i corresponde à produção “corrigida” mensal no mês i (presente mês), pe_i à produção expedida no mês i , pe_{i-1} à produção expedida no mês $i - 1$ (mês precedente), pe_{i+1} à produção expedida no mês $i + 1$ (mês seguinte), onde $i = 1, 2, \dots, 12$, e f é o factor de correcção que estabelece uma relação entre a produção “corrigida” mensal e as facturas energéticas mensais. Este factor anual médio resulta da média dos factores determinados para a energia eléctrica (f_E) e gás natural (f_G):

$$f = \frac{f_E + f_G}{2} \quad (\text{Eq.9})$$

A fim de determinar a produção “corrigida” para Janeiro de 2008, assume-se, como pressuposto, que a produção expedida no mês precedente (Dezembro de 2007) é análoga à verificada em Dezembro de 2008. Quanto ao mês de Dezembro, assume-se que a produção expedida no mês seguinte (Janeiro de 2009) é semelhante à registada em Janeiro de 2008.

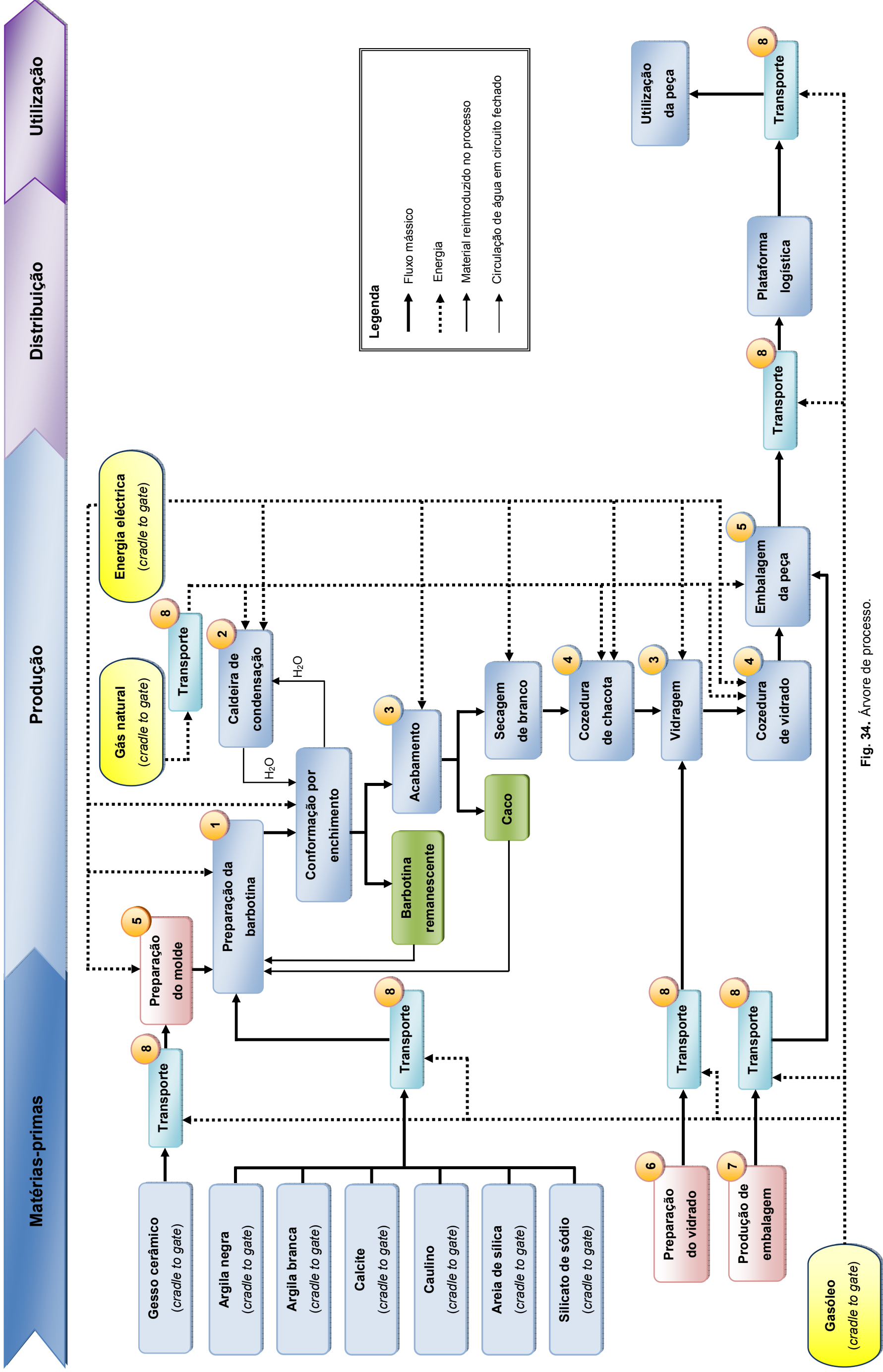


Fig. 34. Árvore de processo.

Para a determinação de f_E , assumiu-se que $f_E = 0, 0,01, \dots, 0,5$. Para cada valor assumido de f_E , calcularam-se os valores correspondentes de pc_i (equação 8), e por regressão linear [68], determinou-se o coeficiente de regressão linear (r_E^2) para a relação

$$C_{E,i} = a \times pc_i + B \quad (\text{Eq.10})$$

em que $C_{E,i}$ é o consumo eléctrico referente ao mês i ($i = 1, 2, \dots, 12$), e a e B são constantes determinadas pela regressão linear. O valor de f_E foi escolhido para aquele que resultava no valor máximo de r_E^2 , ou seja, quando os valores de $C_{E,i}$ e pc_i melhor se adaptavam à relação representada pela equação 10.

Para o gás natural, procedeu-se de modo similar, fazendo $f_G = 0, 0,01, \dots, 0,5$, calculando-se os valores de pc_i e correspondentes valores de $C_{G,i}$ (consumo de gás referente ao mês i).

6.2.5.2. Consumo de energia eléctrica

Na figura 35 está representado o consumo de energia eléctrica em função da produção “corrigida” ao longo do ano.

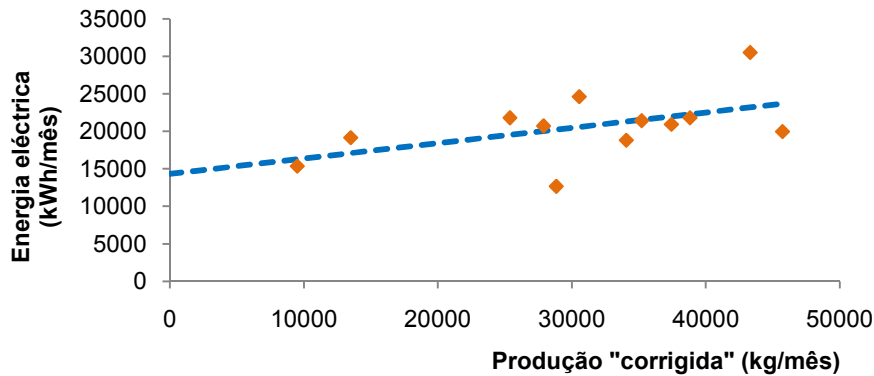


Fig. 35. Consumo de energia eléctrica em função da produção “corrigida”.

Pela relação linear do tipo $C_E = F_E \times pc + C_{E, \text{fixo}}$, determinou-se o coeficiente de consumo de energia eléctrica por kg de peça produzida ($F_E = 0,205 \text{ kWh/kg}$), que corresponde ao declive da relação.

Pela figura 35, observa-se um consumo de energia eléctrica na ausência de produção ($C_{E, \text{fixo}} = 14310 \text{ kWh/mês}$), uma vez que, independentemente de haver produção ou não, existem equipamentos eléctricos ligados continuamente ao longo de 24 horas. Foi considerado que para

uma produção anual de n peças, cada peça seria responsável pela seguinte quantidade de energia eléctrica relativamente ao total do consumo eléctrico fixo anual:

$$G_{E, \text{fixo}} = \frac{C_{E, \text{fixo}} \times 12 \text{ meses}}{n} \quad (\text{Eq.11})$$

Foi, assim, estabelecida a seguinte relação de consumo eléctrico para cada peça produzida:

$$G_E = F_E \times m_{\text{peça}} + G_{E, \text{fixo}} \quad (\text{Eq.12})$$

em que F_E , é o coeficiente de consumo de energia eléctrica por kg de peça cozida, $G_{E, \text{fixo}}$ é o consumo médio fixo de energia devido à simples existência de uma peça cerâmica, e $m_{\text{peça}}$ é a massa final da peça.

Os valores obtidos para os factores de energia estão presentes na tabela 5.

Tabela 5. Factores para quantificar a energia eléctrica consumida por peça cerâmica.

Factores	Energia eléctrica
F_E	0,205 kWh/kg
$G_{E, \text{fixo}}$	0,267 kWh/peça

6.2.5.3. Consumo de gás natural

Uma vez que os fornos intermitentes são os principais responsáveis pela factura do gás natural, procedeu-se a uma análise mais detalhada. Sendo necessário determinar o consumo de gás natural por cozedura (chacota e vidro) – processos identificados na árvore de processo referenciada na figura 34 pelo algarismo 4 –, foram efectuados ensaios experimentais que consistiram na pesagem das várias peças antes e após o ciclo de tratamento térmico e da mobília de enfora (refractário), visto que cada vagoneta leva um número variável de diversas peças. É preciso ter em conta que a carga total que sofre tratamento térmico engloba tanto a massa do material refractário, que suporta as peças, como a de peças cerâmicas. O consumo de gás registado deve-se não só à cozedura das peças cerâmicas, mas também à elevação da temperatura da mobília e da envolvente do forno e ao calor perdido com os efluentes gasosos que saem pela chaminé.

Na indústria em causa, após o tratamento térmico, verifica-se a produção de cacos, identificados como o subsistema “Caco para indústria cimenteira”, que não podem ser reintroduzidos no ciclo produtivo. No caso da chacota, tal implica que o consumo de gás natural por cozedura

corresponda a uma menor carga de peças produzidas. A referida carga de peças é obtida mediante aplicação da relação

$$m_{\text{chacota, corrigida}} = m_{\text{peças cozidas}} \times (1 - \%_{\text{caco}}) \quad (\text{Eq.13})$$

onde $m_{\text{peças, cozidas}}$ representa a carga desenfundada após o ciclo de cozedura, e $\%_{\text{caco}}$ é a percentagem média de cacos obtidos por cozedura (em média 3,0 %).

A figura 36 relaciona o consumo de gás natural com a massa “corrigida” por ciclo de tratamento térmico.

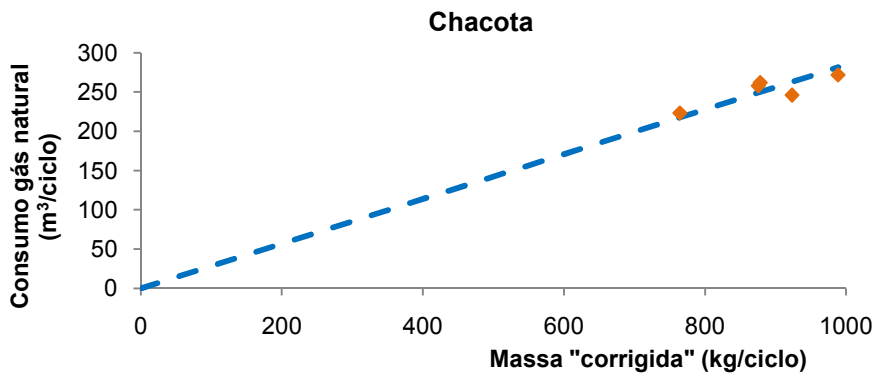


Fig. 36. Consumo de gás natural em função da massa de chacota “corrigida” cozida.

A relação linear obtida permite auferir o coeficiente de consumo de gás natural por unidade de massa de peça cozida ($F_{G, \text{chacota}} = 0,284 \text{ m}^3/\text{kg}$), que corresponde ao declive da recta.

Também para o vidrado é tida em conta a percentagem de cacos resultantes da cozedura. No caso do vidrado, as peças não conformes podem ser retocadas e novamente sujeitas a cozedura, facto pelo qual uma carga de peças cerâmicas na realidade irá apresentar um maior consumo de gás natural. O real consumo de gás natural com a cozedura de vidrado é dado por

$$C_{G, \text{vidrado corrigido}} = C_{G, \text{vidrado}} \times (1 + \%_{\text{não conforme}}) \quad (\text{Eq.14})$$

onde $C_{G, \text{vidrado}}$ representa o consumo de gás natural registado aquando os ensaios e $\%_{\text{não conforme}}$ é a percentagem de peças vidradas não conformes que serão reintroduzidas na linha e produção e sujeitas a nova cozedura (em média 32 %).

A figura 37 apresenta o consumo de gás natural “corrigido” em relação ao volume total de peças desenfundadas, uma vez que, contrariamente à chacota, as peças vidradas colocadas nas vagonetas não se podem tocar, uma vez que vitrificariam unidas.

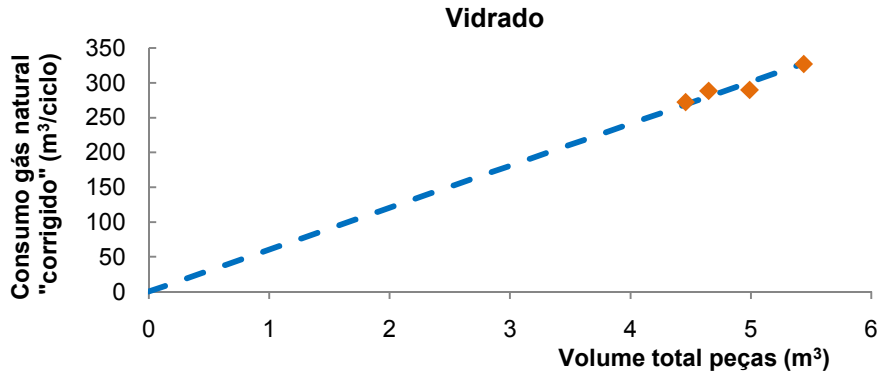


Fig. 37. Consumo de gás natural “corrigido” em função do volume total de peças cozidas.

A relação linear obtida permite auferir o coeficiente de consumo de gás natural por unidade de volume de peça cozida, $H_{G, \text{vidrado}} = 60,3 \text{ m}^3/\text{m}^3$ (volume de gás natural por volume de peça), que corresponde ao declive.

Há ainda a considerar o consumo de gás natural nas restantes etapas do ciclo produtivo. Para além dos fornos intermitentes, ocorre consumo de gás natural na caldeira para aquecimento de água para a etapa de enchimento. Sendo este aquecimento efectuado de forma contínua, 24 horas por dia e 7 dias por semana ao longo de todo o ano, estipula-se que existe um consumo médio anual fixo de gás natural por unidade de massa:

$$F_{G, \text{fixo}} = \frac{C_{G, \text{fixo}}}{\sum_{i=1}^{12} pc_i} \quad (\text{Eq.15})$$

onde $C_{G, \text{fixo}}$ é o consumo anual de gás, obtido pela seguinte equação:

$$C_{G, \text{fixo}} = \sum_{i=1}^{12} (C_{G, i} - C_{G, \text{chacota}, i} - C_{G, \text{vidrado}, i}) \quad (\text{Eq.16})$$

em que $C_{G, i}$ é o consumo de gás natural em m^3 , facturado à empresa no mês i , e $C_{G, \text{chacota}, i}$ e $C_{G, \text{vidrado}, i}$ representam o consumo mensal de gás natural com a cozedura de chacota e vidrado, respectivamente, no mês i .

Estabelece-se, assim, a seguinte relação que permite determinar o consumo de gás natural correspondente ao fabrico de uma peça cerâmica:

$$G_G = (F_{G, \text{chacota}} \times m_{\text{peça}} + H_{G, \text{vidrado}} \times V_{\text{peça}} + F_{G, \text{fixo}} \times m_{\text{peça}}) \times f_{\text{kWh}} \quad (\text{Eq.17})$$

em que $V_{pe\grave{c}a}$ é o volume final da peça que se pretende estudar, e $f_{kWh} = 11,82 \text{ kWh/m}^3$ é o factor de conversão de m^3 para kWh presente nas facturas de gás natural.

Os valores obtidos para os factores energéticos do gás natural encontram-se na tabela 6.

Tabela 6. Factores para quantificar consumos energéticos de gás natural por peça cerâmica.

Factores	Gás natural
$F_{G, \text{chacota}}$	0,284 m^3/kg
$H_{G, \text{vidrado}}$	60,3 m^3/m^3
$F_{G, \text{fixo}}$	0,211 m^3/kg

6.2.5.4. Análise de emissões de CO_2 e do processo produtivo

Para quantificar as emissões de CO_2 e, num primeira fase, convertem-se os consumos de energia eléctrica e de gás natural por peça para a unidade quilograma equivalente de petróleo, kgep. Para tal, utilizam-se os seguintes factores de conversão para energia primária: para o gás natural 0,905 kgep/ m^3 e para a energia eléctrica 0,215 kgep/kWh, segundo o mencionado no Despacho nº 17313/2008, Diário da República II, n.º 122, Junho 2008.

Para a energia eléctrica,

$$G_{\text{energia, E}} = (F_E \times m_{pe\grave{c}a} + G_{E, \text{fixo}}) \times 0,215 \quad (\text{Eq.18})$$

em que $G_{\text{energia, E}}$ é o consumo de energia primária em kgep resultante da energia eléctrica.

Para o gás natural,

$$G_{\text{energia, G}} = (F_{G, \text{chacota}} \times m_{pe\grave{c}a} + H_{G, \text{vidrado}} \times V_{pe\grave{c}a} + F_{G, \text{fixo}} \times m_{pe\grave{c}a}) \times 0,905 \quad (\text{Eq.19})$$

O despacho em questão atribui para o gás natural um factor de 2,8637 $\text{kg}_{\text{CO}_2 \text{ e}}/\text{kgep}$. A seguinte equação quantifica a emissão de CO_2 e decorrente do consumo de gás natural por peça cerâmica (Emissões $\text{CO}_2 \text{ e G}$):

$$\text{Emissões } \text{CO}_2 \text{ e G} = G_{\text{energia, G}} \times 2,8637 \quad (\text{Eq.20})$$

Segundo a metodologia anteriormente explicitada e através das variáveis massa final ($m_{pe\grave{c}a} = 0,417 \text{ Kg}$) e volume total ocupado por artigo cerâmico ($V_{pe\grave{c}a} = 0,001 \text{ m}^3$) obtêm-se os respectivos

consumos energéticos e emissões de CO_{2e} para a peça cerâmica em estudo, conforme apresentados nas tabelas 7 e 8.

Tabela 7. Consumos energéticos para o cálculo da pegada de carbono da peça cerâmica.

Energia eléctrica (kWh)		Gás natural (m ³)		
Fixo	Peça	Forno chacota	Forno vidrado	Caldeira
0,267	0,086	0,118	0,060	0,090

Tabela 8. Emissões de CO_{2eG} para o cálculo da pegada de carbono da peça cerâmica.

Emissões de CO _{2G} (kg _{CO_{2eG}})		
Forno chacota	Forno vidrado	Caldeira
0,305	0,155	0,234

6.2.6. Desagregação de consumos de energia eléctrica e emissões de CO_{2e}

Acompanhou-se a produção da peça, registando-se os fluxos mássicos de entrada e saída de cada etapa do processo produtivo, ilustrados na árvore de processo da figura 34.

Para identificar *hotspots* de energia eléctrica e emissões de CO_{2e}, foi efectuada a desagregação dos consumos apresentados na tabela 7, atendendo à árvore de processo traçada. Sempre que exequível, a desagregação dos 0,086 kWh consumidos pela peça foi efectuada com base em medições experimentais. O consumo fixo de energia eléctrica será desagregado numa fase posterior.

6.2.6.1. Preparação da barbotina e consumos energéticos

O processo “Preparação da barbotina” está identificado com o algarismo 1 na árvore de processo referenciada na figura 34.

6.2.6.1.1. Composição da barbotina para a produção da peça

Para garantir uma produção contínua de qualquer encomenda de peças 4601005, atendendo ao *modus operandis* da empresa e aos dados primários recolhidos, determina-se que a composição

da barbotina para a produção da peça em análise é constituída pelas componentes representadas na figura 38, nas proporções ilustradas.

Após a conformação da peça, explicitado na secção 6.1.3.2, o excesso de barbotina necessário à conformação é vazado e reenviado para o tanque de retorno para posterior reinserção no processo produtivo (barbotina remanescente/retorno). Aquando o vazamento do excesso de barbotina ocorrem perdas de barbotina (perdas). Para garantir a continuidade de produção, estas perdas são colmatadas com o acréscimo de 0,7 % de barbotina nova, para além dos 21,1 % identificados na figura 38. A barbotina nova diz respeito à pasta virgem preparada com matérias-primas (sem adição de caco) acondicionadas em armazém (*stock*).

O caco, como já mencionado, consiste em produto não conforme resultante do processo produtivo, nomeadamente da etapa de acabamento, e que é reintroduzido no processo.

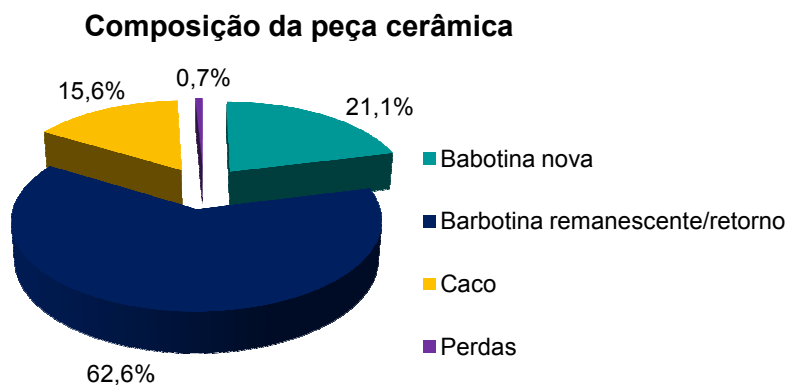


Fig. 38. Composição da barbotina necessária para a conformação da peça.

6.2.6.1.2. Quantidade de matéria-prima a acondicionar em armazém

Após a determinação da composição da peça e de modo a identificar e quantificar a matéria-prima a acondicionar em *stock* necessária à preparação da barbotina para a produção da peça cerâmica em estudo, procedeu-se a um balanço mássico, em base seca, ao sistema ilustrado na figura 39.

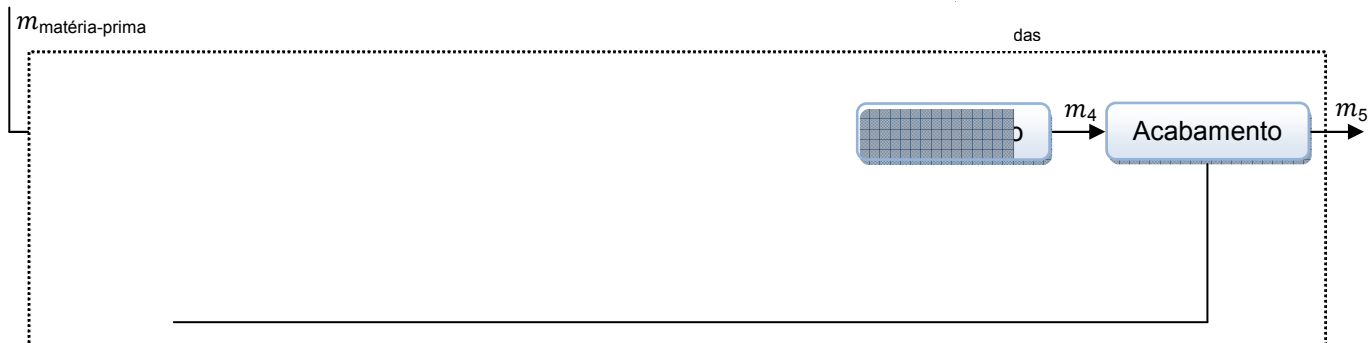


Fig. 39. Representação esquemática do sistema a que se realizou o balanço mássico.

Variáveis consideradas no balanço mássico:

- quantidade mássica de matéria-prima ($m_{\text{matéria-prima}}$) – quantidade de matéria-prima a acondicionar em *stock*, sem adição de caco;
- quantidade mássica m_1 – quantidade de matéria-prima a acondicionar em *stock*, incluindo o caco;
- quantidade mássica de barbotina m_2 – quantidade de barbotina virgem preparada no tanque diluidor-misturador;
- quantidade mássica de barbotina m_3 – quantidade de pasta necessária à conformação da peça na etapa de enchimento;
- quantidade mássica de barbotina de retorno (m_{retorno}) – quantidade de barbotina vazada do molde após a formação das paredes da peça e reintroduzida no processo produtivo;
- quantidade mássica de barbotina resultante das perdas no enchimento (m_{perdas}) – quantidade de barbotina a produzir para colmatar as perdas no enchimento; as perdas são consequentes do processo de vazamento do excesso da barbotina do molde, e a sua reposição assegura a continuidade da produção de peças com igual referência;
- massa da peça conformada e desmoldada (m_4) – massa da peça conformada e desmoldada, pronta a seguir para a fase de acabamento;
- massa da peça acabada (m_5) – peça pronta a ser submetida à secagem de branco na estufa;
- quantidade mássica de caco (m_{caco}) – quantidade de material não conforme proveniente da etapa de acabamento que é reintroduzido no ciclo produtivo.

Efectuando o balanço mássico ao sistema delimitado, verifica-se, pela seguinte equação que

$$m_{\text{matéria-prima}} = m_5 + m_{\text{perdas}} \quad (\text{Eq. 21})$$

A quantidade mássica de matéria-prima a fornecer e acondicionar em armazém para a preparação da barbotina corresponde às correntes: peça acabada (m_5) e barbotina resultante das perdas no enchimento (m_{perdas}), como ilustrado no plano auxiliar ao ciclo de vida da peça traçado no software Gabi 4.3 da figura E.2.

A tabela 9 reúne as quantidades mássicas de cada matéria-prima, em base húmida, para as duas correntes a considerar para a preparação da barbotina. Ressalve-se que a quantidade mássica da água foi calculada atendendo aos dados presentes na tabela B.1.

Tabela 9. Quantidade mássica da matéria-prima para a preparação da barbotina.

Matéria-prima	Composição (kg)	
	Barbotina nova	Barbotina adicional
Argila negra	$7,339 \times 10^{-2}$	$2,365 \times 10^{-3}$
Argila branca	$4,776 \times 10^{-2}$	$1,539 \times 10^{-3}$
Calcite	$5,645 \times 10^{-2}$	$1,819 \times 10^{-3}$
Caulino	$1,542 \times 10^{-1}$	$4,970 \times 10^{-3}$
Areia de sílica	$1,091 \times 10^{-1}$	$3,515 \times 10^{-3}$
Silicato de sódio	$1,242 \times 10^{-3}$	$4,003 \times 10^{-5}$
Água	$1,690 \times 10^{-1}$	$5,446 \times 10^{-3}$

Após a determinação dos *inputs* mássicos das matérias-primas da barbotina, é necessário proceder à recolha das emissões de GEE emitidas aquando a sua produção *cradle to gate*.

Para as matérias-primas da barbotina, a base de dados do GaBi 4.3 apenas contempla os processos *cradle to gate* de produção de caulino e areia de sílica tendo como país de referência a Alemanha. No entanto, assumiu-se que os processos são em tudo análogos aos realizados em Portugal. Para as restantes matérias-primas (argilas, calcite e silicato de sódio), foram consultadas e transpostas bases de dados europeias de análise de ciclo de vida, de acordo com a unidade funcional previamente estabelecida [69] [70].

O tipo e quantidade de combustíveis utilizados nos processos *cradle to gate* “Argila negra”, “Argila branca”, “Calcite” e “Silicato de sódio” para os processos, “Barbotina nova” e “Barbotina nova adicional (perdas)”, presentes na figura E.2 podem ser consultados na tabela B.2.

A tabela 10 reúne as emissões GEE resultantes dos processos *cradle to gate* das matérias-primas argila negra, argila branca, calcite e silicato de sódio [69] [70].

Tabela 10. Emissões de GEE resultantes dos processos *cradle to gate* das matérias-primas.

Emissões GEE (kg)	Argila negra	Argila branca	Calcite	Silicato de sódio
CO ₂	$2,033 \times 10^{-3}$	$1,323 \times 10^{-3}$	$4,367 \times 10^{-3}$	$3,701 \times 10^{-4}$
CH ₄	$1,119 \times 10^{-5}$	$7,284 \times 10^{-6}$	$8,610 \times 10^{-6}$	$1,641 \times 10^{-7}$
N ₂ O	$3,397 \times 10^{-8}$	$2,211 \times 10^{-8}$	$8,647 \times 10^{-6}$	---
VOC	$1,909 \times 10^{-15}$	$1,242 \times 10^{-15}$	$1,366 \times 10^{-15}$	---
SF ₆	---	---	---	---
Diclorometano (CH ₂ Cl ₂)	---	---	$1,695 \times 10^{-28}$	---

6.2.6.1.3. Consumos energéticos

Conforme explicitado na etapa de preparação da barbotina (secção 6.1.3.1) e atendendo à composição da barbotina para a produção da peça (secção 6.2.6.1.1), o caco (m_{caco}), a barbotina resultante das perdas no enchimento (m_{perdas}) e as restantes matérias-primas ($m_{\text{matéria-prima}}$) são adicionadas ao tanque diluidor-misturador, como ilustrado na figura 39. Neste sentido, há que considerar os consumos eléctricos nos tanques diluidor-misturador, de homogeneização e de *stock* para todas as quantidades mássicas adicionadas (m_{caco} , m_{perdas} e $m_{\text{matéria-prima}}$). Já para a barbotina de retorno (m_{retorno}) há que contabilizar a energia consumida nos tanques de homogeneização, de *stock* e de retorno.

O consumo de energia eléctrica ($G_{E, j, \text{pasta}}$) decorrente da utilização de cada equipamento j (diluidor-misturador, tanque de homogeneização, tanque de *stock* e tanque de retorno) para a preparação de um tanque de pasta foi determinado tendo por base a potência nominal dos equipamentos envolvidos na preparação da pasta e respectivo tempo de utilização, conforme demonstrado na tabela B.3. Atendendo a que um tanque de pasta preparado é composto por uma quantidade mássica de 5413 kg de barbotina (m_{pasta}), o consumo de energia eléctrica ($G_{E, j}$), devido à utilização de cada equipamento j para a preparação da barbotina em base húmida, necessária à conformação da peça constituída pelas quantidades mássicas $m_{\text{matéria-prima}}$, m_{caco} , m_{retorno} , m_{perdas} , correspondentes aos processos “Barbotina nova”, “Caco”, “Barbotina remanescente” e “Barbotina nova adicional (perdas)”, respectivamente, foi determinado pela seguinte equação:

$$G_{E, j} = \frac{m_i \times G_{E, j, \text{pasta}}}{m_{\text{pasta}}} \quad (\text{Eq. 22})$$

onde

- m_i diz respeito a $m_{\text{matéria-prima}}$, m_{caco} , m_{retorno} , e m_{perdas} , respectivamente.

Deste modo, a tabela 11, reúne os consumos de energia eléctrica calculados (*inputs* a inserir no Gabi 4.3).

Tabela 11. Consumo de energia eléctrica para cada processo de preparação da barbotina necessária à produção da peça.

Equipamento <i>j</i> (tanque)	Consumo de energia eléctrica na preparação da barbotina (kWh)			
	Barbotina nova	Caco	Barbotina remanescente	Barbotina nova adicional (perdas)
Diluidor-misturador	$3,726 \times 10^{-3}$	$2,753 \times 10^{-3}$	---	$1,423 \times 10^{-4}$
Homogeneização	$1,694 \times 10^{-3}$	$1,252 \times 10^{-3}$	$5,026 \times 10^{-3}$	$6,466 \times 10^{-5}$
Stock	$5,961 \times 10^{-3}$	$4,405 \times 10^{-3}$	$1,769 \times 10^{-2}$	$2,276 \times 10^{-4}$
Retorno	---	---	$1,843 \times 10^{-2}$	---
Total	$1,138 \times 10^{-2}$	$8,410 \times 10^{-3}$	$4,115 \times 10^{-2}$	$4,345 \times 10^{-4}$

6.2.6.2. Caldeira de condensação

6.2.6.2.1. Energia eléctrica

A caldeira de condensação está identificada com o algarismo 2 na árvore de processo ilustrada na figura 34.

Com o intuito de determinar o consumo de energia eléctrica da caldeira de condensação e de duas bombas que garantem a circulação da água em circuito fechado, ligou-se um analisador de redes (modelo Vega 76) ao correspondente quadro. Efectuando-se uma média ponderada, determinou-se a potência eléctrica, ($P_{E, \text{caldeira}} = 0,646 \text{ kW}$).

A caldeira de condensação aquece água que circula nas 14 bancadas do enchimento. O consumo de energia eléctrica,

$$G_{E, \text{peça caldeira}} = \frac{P_{E, \text{caldeira}} \times t_{\text{conformação}}}{(n^{\circ} \text{ moldes/bancada}) \times n^{\circ} \text{ bancadas}} \quad (\text{Eq.23})$$

O consumo de energia eléctrica foi calculado, atendendo a que a empresa trabalha, comumente, com 40 moldes em cada bancada e que cada um permanece cerca de 1 hora em conformação ($t_{\text{conformação}}$). Determinou-se então que $G_{E, \text{peça caldeira}} = 1,153 \times 10^{-3} \text{ kWh}$.

6.2.6.2.2. Volume de água

Observando a árvore de processo (figura 34), foi necessário determinar o volume de água do processo “Caldeira de condensação” (V_{H_2O}) imprescindível ao processo de conformação por enchimento da peça cerâmica. Considerando o sistema em estado estacionário, o fluxo de transferência de calor na tubagem é dado por [71]

$$\dot{q} = \dot{V}_{H_2O} \times c_{H_2O} \times (T_{out} - T_{in}) \quad (\text{Eq.24})$$

A energia térmica gerada na caldeira é obtida mediante aplicação da equação

$$\dot{E} = \eta \times \dot{V}_G \times PCI_G \quad (\text{Eq.25})$$

Igualando as equações anteriormente enunciadas, obtém-se a seguinte equação que permite calcular o caudal volúmico de água:

$$\dot{V}_{H_2O} = \frac{\eta \times \dot{V}_G \times PCI_G}{c_{H_2O} \times (T_{out} - T_{in})} \quad (\text{Eq.26})$$

onde

- \dot{V}_{H_2O} diz respeito ao caudal médio de água que circula durante um dia na bancada de enchimento,
- η representa a eficiência de conversão na caldeira de condensação,
- \dot{V}_G é o caudal volúmico médio diário de gás natural consumido,
- PCI_G diz respeito ao poder calorífico inferior de gás natural,
- c_{H_2O} representa a capacidade calorífica específica da água,
- T_{out} e T_{in} representam as temperaturas da água à saída e à entrada da tubagem, respectivamente.

O caudal volúmico de gás natural (\dot{V}_G) foi determinado pela média aritmética dos consumos diários registados na caldeira desde o dia 13 de Abril até ao dia 28 de Junho de 2009. De modo a determinar o rendimento da caldeira foi indispensável efectuar o balanço de energia [72] explicitado no anexo C.

Partindo do pressuposto que a caldeira apresenta um consumo de gás natural uniforme ao longo de 24 h, a subsequente equação permite o cálculo do volume de água inerente à conformação da peça em estudo:

$$V_{H_2O} = \frac{\dot{V}_{H_2O} \times t_{\text{conformação}}}{(n^{\circ} \text{ moldes/bancada}) \times n^{\circ} \text{ bancadas}} \quad (\text{Eq.27})$$

Obteve-se, assim, o volume de água necessário para a conformação da peça de $2,84 \times 10^{-3} \text{ m}^3$.

6.2.6.3. Consumo no acabamento e na vidragem

Na etapa de acabamento da peça, rebarbagem e esponjagem, tendo em conta a potência nominal dos equipamentos e respectivo tempo de utilização para o acabamento da peça em análise, estimou-se um consumo energético de $3,333 \times 10^{-3} \text{ kWh}$.

Na vidragem da peça verifica-se consumo de energia eléctrica no limpa-fretes. Sabendo a potência nominal do equipamento e o tempo de utilização, determinou-se um consumo de $1,500 \times 10^{-3} \text{ kWh}$.

Ambos os processos estão identificados com o algarismo 3 na árvore de processo, como apresentado na figura 34.

6.2.6.4. Consumo dos ventiladores na cozedura de chacota e vidrado

Os processos “Cozedura de chacota” e “Cozedura de vidrado” estão identificados com o algarismo 4 na árvore de processo, como ilustrado na figura 34.

Através do analisador de redes, procedeu-se à monitorização do consumo de energia eléctrica pelo ventilador ao longo de uma cozedura ($G_{E, \text{vent.vidrado}} = 13,3 \text{ kWh}$), como se pode constatar pela figura D.1. Para o cálculo do consumo de energia eléctrica na cozedura da peça vidrada ($G_{E, \text{peça vidrado}}$) foi considerada uma carga total média de peças vidradas cozidas ($m_{\text{total peças cozidas}} = 805,0 \text{ kg}$) e a massa de uma peça cozida vidrada ($m_{\text{peça cozida vidrado}} = 0,417 \text{ kg}$):

$$G_{E, \text{peça vidrado}} = \frac{m_{\text{peça cozida vidrado}} \times G_{E, \text{vent.vidrado}}}{m_{\text{total peças cozidas}}} \quad (\text{Eq.28})$$

De acordo com a equação anterior, auferiu-se um consumo $G_{E, \text{peça vidrado}} = 6,884 \times 10^{-3} \text{ kWh}$.

Por razões inerentes ao funcionamento da unidade industrial, não foi possível monitorizar a cozedura de chacota. Na impossibilidade de adoptar um método mais apropriado e, tendo-se determinado experimentalmente que, face à cozedura de vidrado, uma cozedura de chacota

representa um acréscimo de consumo de gás natural de 9,02 %, estimou-se um consumo de energia eléctrica do ventilador ao longo da cozedura da peça chacotada ($G_{E, \text{vent. chacota}}$) de acordo com a seguinte relação:

$$G_{E, \text{vent. chacota}} = G_{E, \text{vent. vidrado}} + G_{E, \text{vent. vidrado}} \times 9,02 \% \quad (\text{Eq.29})$$

Aplicando a equação 28, de modo análogo, em que $m_{\text{total peças cozidas}} = 920,6 \text{ kg}$ e a massa de peça cozida chacotada, $m_{\text{peça cozida chacota}} = 0,353 \text{ kg}$, determinou-se o consumo de energia eléctrica para a peça em análise ($G_{E, \text{peça chacota}} = 5,615 \times 10^{-3} \text{ kWh}$).

6.2.6.5. Consumo nas etapas de embalagem da peça e preparação do molde

No que respeita à desagregação do consumo de energia eléctrica decorrente da produção da peça, falta apenas referir a embalagem da peça cerâmica e a produção do molde, processos representados na figura 34 com o algarismo 5. Assim sendo, reverenciou-se, empiricamente, que a expedição acarretava um consumo de $2,083 \times 10^{-4} \text{ kWh}$ e que a preparação do molde era responsável por um consumo de $1,704 \times 10^{-3} \text{ kWh}$. O processo “Embalagem da peça” considera a etiquetagem, embalagem e todo o suporte administrativo.

6.2.6.6. Consumos desagregados de energia eléctrica na produção da peça

Após a realização de todos os procedimentos necessários à desagregação do consumo fixo de energia eléctrica decorrente da produção da peça em estudo ($0,086 \text{ kWh}$), apresenta-se a figura 40 que ilustra a contribuição de cada etapa do processo produtivo para o consumo fixo previamente determinado.

Desagregação de energia eléctrica na produção

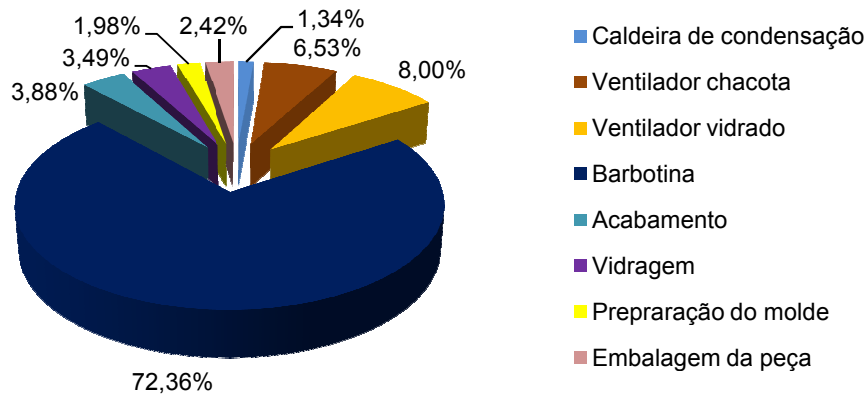


Fig. 40. Consumos desagregados do consumo de energia eléctrica para a produção da peça.

6.2.6.7. Consumo fixo de energia

O consumo fixo de energia eléctrica ($G_{E, \text{fixo}} = 0,267 \text{ kWh}$) apresenta como componentes a iluminação da unidade fabril ($G_{E, \text{iluminação}}$) e o consumo de energia pelos ventiladores da estufa ($G_{E, \text{estufa}}$):

$$G_{E, \text{fixo}} = G_{E, \text{iluminação}} + G_{E, \text{estufa}} \quad (\text{Eq. 30})$$

Após um levantamento exaustivo do tipo e número de armaduras instaladas com o correspondente número de lâmpadas e diferentes potências e considerando o período de iluminação de 9 horas diárias ao longo de 5 dias úteis determinou-se o consumo médio mensal de 1852 kWh de energia eléctrica correspondente à iluminação, como mencionado na tabela B.4.

Já o consumo mensal dos 3 ventiladores das estufas (362,88 kWh) foi determinado considerando a potência nominal de cada ventilador e uma operação contínua ao longo de 24 h durante 7 dias por semana. Deste modo se depreende que o consumo de energia total da iluminação e dos ventiladores é igual a 2215,12 kWh, correspondendo a 83,62 % para a iluminação e 16,38 % para a estufa. Assim sendo, a peça é responsável por um consumo de 0,223 kWh na iluminação da unidade e de 0,044 kWh na estufa.

No que concerne ao consumo $G_{E, \text{iluminação}}$, foi, ainda, necessário desagregá-lo pelos processos ilustrados na árvore de processo (“Conformação por enchimento”, “Acabamento”, “Preparação do

molde” e “Embalagem da peça”). A figura 41 apresenta a repartição de consumos. Esta foi realizada empiricamente, tendo por base um acompanhamento *in loco* da produção da peça.

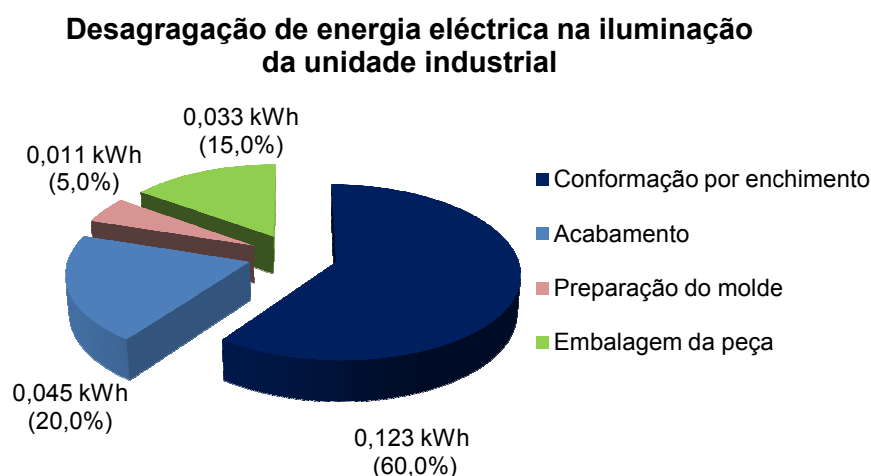


Fig. 41. Consumo desagregado de energia eléctrica da iluminação da unidade fabril.

6.2.7. Produção de vidro

Em relação ao vidro e como já referido aquando a definição da fronteira do sistema, foram excluídos do sistema os consumos energéticos e as emissões de GEE inerentes à produção do vidro branco, identificado com o algarismo 6 na figura 34. Assim sendo, apenas foi considerado o transporte do fornecedor para a empresa. Determinou-se, por medição, que a peça era coberta por uma quantidade mássica de suspensão de vidro de 0,114 kg.

6.2.8. Produção de embalagem

A Pro Carton – European Association of Carton and Cartonboard Manufacturers, realizou um estudo de pegada de carbono ao papel cartonado para embalagem. Segundo o mesmo, a produção *cradle to gate* de cartão de embalagem é responsável pela emissão de 964 kg_{CO₂e} por tonelada de cartão produzido, considerando fibras celulósicas primárias e fibras provenientes da reciclagem das embalagens. No entanto, há que considerar o carbono biogénico (1504 kg_{CO₂e}) armazenado por tonelada de cartão. O carbono biogénico consiste no CO₂ armazenado ao longo do crescimento das árvores que darão origem à produção de celulose para a obtenção de papel cartonado para embalagens [73] [74].

Segundo a PAS 2050:2008, o impacto do armazenamento do carbono deve ser avaliado ao longo de 100 anos, a partir da média ponderada de carbono biogénico, medido como CO₂ absorvido da atmosfera pelo produto. Considerando que existem benefícios provenientes do armazenamento de CO₂ ao longo de 2 anos de tempo de vida útil do cartão, determinou-se o factor de ponderação (0,015) a aplicar à avaliação de armazenamento de CO₂ ao longo de 100 anos [59]:

$$\text{Factor ponderado} = \frac{100 - (0,76 \times t_0)}{100} \quad (\text{Eq. 31})$$

em que t_0 é o número de anos em que existe benefício de armazenamento de carbono após a produção do cartão. Assim sendo, ponderou-se o impacto normativo do carbono biogénico armazenado por tonelada de cartão produzido, calculando-se um valor de 22,861 kg_{CO₂e}/ton_{cartão}. Por subtracção entre o CO₂ emitido no processo produtivo (964 kg_{CO₂e}/ton_{cartão}) e o carbono biogénico armazenado ao longo de 2 anos, obteve-se um valor de emissão de 941,14 kg_{CO₂e}/ton_{cartão}.

Cada embalagem de cartão utilizada identificada pelo algarismo 7 na árvore de processo da figura 34, apresenta uma quantidade mássica de 0,292 kg, o que significa que emite 0,215 kg_{CO₂e}. Atendendo a que cada embalagem acondiciona 12 peças e de modo a ponderar a cota de emissão de CO₂e normativo relativamente à peça embalada, considerou-se uma massa de embalagem de 0,024 kg, à qual corresponde um valor de emissão de CO₂e normativo de $2,290 \times 10^{-2}$ kg_{CO₂e}.

6.2.9. Preparação do molde

O molde é produzido mediante uma mistura de água (4,99 kg) e gesso cerâmico (1,30 kg). Sabendo que, em média, um molde tem 6,289 kg, que este permite a conformação de uma média de 200 peças e atendendo a que é necessário introduzir *inputs* que reflectam a cota de consumo de electricidade referentes à produção do molde respeitante à produção da peça, determinou-se o factor de escala de 0,005. O factor foi determinado pelo quociente entre a quantidade mássica do molde (6,289 kg) e a massa de 200 moldes.

A base de dados disponível *online* na plataforma da Comissão Europeia para análise de ciclo de vida do gesso cerâmico tem como unidade funcional a produção de um 1 kg de gesso cerâmico α-hemihidratado produzido. Considerando a massa de gesso para a preparação do molde ($m_{\text{gesso molde}} = 1,3 \text{ kg}$) e o factor de escala, a seguinte relação permite determinar os consumos

energéticos dos diversos tipos de combustíveis utilizados no processo *cradle to gate* de 1,3 kg de gesso cerâmico ($G_{E, \text{gesso}, i}$):

$$G_{E, \text{gesso}, i} = G_{E, i} \times m_{\text{gesso molde}} \times \text{factor de escala} \quad (\text{Eq. 32})$$

em que $G_{E, i}$ (MJ/kg_{gesso}) corresponde ao consumo de energia de cada combustível i necessário à produção de 1 kg de gesso cerâmico [75]. Os consumos de energia $G_{E, \text{gesso}, i}$ calculados podem ser consultados na tabela 12.

Tabela 12. Energia consumida no processo *cradle to gate* de 1,3 kg de gesso cerâmico.

<i>Inputs</i> - Combustível	$G_{E, \text{gesso}, i}$ (MJ)
Biomass [Renewable energy resources]	$3,681 \times 10^{-16}$
Crude oil free customer Portugal [Crude oil products]	$8,776 \times 10^{-4}$
Hard coal Portugal [Hard coal (resource)]	$8,912 \times 10^{-3}$
Lignite EU-25 [Lignite products]	$2,596 \times 10^{-3}$
Natural gas free customer Portugal [Natural gas products]	$9,346 \times 10^{-3}$
Peat [Biomass fuels]	$8,917 \times 10^{-9}$
Primary energy from geothermics [Renewable energy resources]	$1,322 \times 10^{-7}$
Primary energy from hydro power [Renewable energy resources]	$9,840 \times 10^{-5}$
Primary energy from solar energy [Renewable energy resources]	$7,776 \times 10^{-6}$
Primary energy from wind power [Renewable energy resources]	$8,460 \times 10^{-5}$
Uranium natural [Uranium (resource)]	$1,403 \times 10^{-3}$
Wood [Biomass fuels]	$5,256 \times 10^{-8}$

Mediante a consulta do inventário resultante da ACV de 1 kg de gesso cerâmico [75], identificaram-se os gases e respectivas emissões relevantes para a categoria de impacto efeito de estufa (Emissões GEE_i , em kg_{CO₂e}/kg_{gesso}). Através da seguinte relação, calcularam-se as emissões de cada gás com efeito de estufa em termos de kg_{CO₂e} (Emissões $GEE_{\text{gesso}, i}$), atendendo à massa de gesso necessária para a produção do molde ($m_{\text{gesso molde}} = 1,3$ kg) e do factor de escala previamente determinado.

$$\text{Emissões } GEE_{\text{gesso}, i} = \text{Emissões } GEE_i \times m_{\text{gesso molde}} \times \text{factor de escala} \quad (\text{Eq.33})$$

A tabela 13 compila os valores obtidos para as Emissões $GEE_{\text{gesso}, i}$.

Tabela 13. Emissões de GEE resultantes da produção de 1,3 kg de gesso cerâmico.

	Gás com efeito de estufa	Emissões GEE _{gesso,i} (kg _{CO₂ e})
	CO ₂	$1,496 \times 10^{-3}$
	CH ₄	$3,040 \times 10^{-6}$
	N ₂ O	$3,059 \times 10^{-8}$
	VOC	$8,243 \times 10^{-9}$
	SF ₆	$3,031 \times 10^{-15}$
	Diclorometano (CH ₂ Cl ₂)	$1,239 \times 10^{-20}$
	Triclorofluorometano (CFC-11)	$1,830 \times 10^{-11}$
Hidrocarbonetos halogenados	1,2-dicloro-1,1,2,2-tetrafluoroetano (CFC-114)	$1,874 \times 10^{-11}$
	Diclorodifluorometano (CFC-12)	$3,935 \times 10^{-12}$
	Clorotrifluorometano (CFC-13)	$2,471 \times 10^{-12}$

6.2.10. Emissões de CO₂ resultantes dos carbonatos

As emissões de processo consideram as emissões resultantes da decomposição de carbonatos no processo de calcinação no forno e da depuração dos gases de combustão (neutralização do HF, HCl e SO₂ dos gases de combustão com calcário ou outros carbonatos).

Segundo a Decisão 2007/589/CE, de 31 de Agosto, “Os dados da actividade devem basear-se no consumo, intensidade ou produção de material, com expressão em ton ou m³(n). O factor de emissão é expresso em ton CO₂/ton ou ton CO₂/m³(n). O carbono contido nos materiais entrados que não seja convertido em CO₂ durante o processo é tido em conta no factor de conversão, que deve ser expresso como fracção. Se o factor de conversão for tido em conta no factor de emissão, não deve ser aplicado um factor de conversão separado. A quantidade de material de entrada utilizada deve ser expressa em termos de massa ou volume (ton ou m³(n))”. A fórmula de cálculo a seguir é a representada pela seguinte equação,

$$\text{Emissões CO}_2 = \text{emissões de CO}_{2(\text{material entrado})} + \text{emissões de CO}_{2(\text{depuração gases de combustão})} \quad (\text{Eq.34})$$

As emissões de CO₂ do material entrado, ou seja, as emissões resultantes dos carbonatos e do carbono contidos noutros materiais integrantes no processo produtivo devem ser calculadas segundo o método A: carbono entrado, baseado na quantidade de carbono das matérias-primas convertidas no ciclo produtivo.

O cálculo baseia-se no carbono (orgânico e inorgânico) utilizado em cada um dos tipos de matérias-primas relevantes, como por exemplo, diferentes tipos de argilas, misturas de argilas ou aditivos. Importa ressaltar que o quartzo/sílica, o feldspato e o caulino não constituem, comumente, fontes de carbono significativas. As emissões são determinadas segundo a seguinte equação [23]:

$$\text{Emissões CO}_2 = \left(\sum \{ \text{dados actividade}_{\text{carbonatos}} \times \text{factor emissão} \} + \sum \{ \text{dados actividade}_{\text{aditivos}} \times \text{factor emissão} \} \right) \times \text{factor conversão} \quad (\text{Eq.35})$$

Os dados de actividade dizem respeito às quantidades de carbonatos alcalino ou alcalino-terrosos utilizados, assim como a quantidade de aditivos que contêm carbono. A tabela 14 apresenta os factores de emissão dos carbonatos. O factor de conversão assume o valor 1,0.

Tabela 14. Factores de emissão estequiométricos, método A, para os carbonatos [11] [23].

Factor emissão CO ₂		Observações
Carbonato	(ton CO ₂ /ton Ca-, Mg-, ou outro carbonato)	
CaCO ₃	0,440	---
MgCO ₃	0,552	---
Geral: $x_y(\text{CO}_3)_z$ Factor emissão = $M_{\text{CO}_2} / (y \times M_x + z \times M_{\text{CO}_3^{2-}})$		x = metais alcalino-terrosos ou alcalinos M _x = peso molecular de x em (g/mol) M _{CO₂} = peso molecular do CO ₂ (g/mol) M _{CO₃²⁻} = peso molecular do CO ₃ ²⁻ (g/mol) y = número estequiométrico de x (= 1 para metais alcalino-terrosos; = 2 para metais alcalinos) z = número estequiométrico de CO ₃ ²⁻ = 1

Aquando da cozedura de chacota, a cerca de 900 °C, ocorre a decomposição da calcite (CaCO₃) em CaO e CO₂, segundo a equação 6. Atendendo a que aquando a preparação da barbotina não existe a adição de aditivos que contenham carbono e que a empresa não detém equipamentos de depuração, as emissões dos carbonatos podem ser calculadas pela seguinte equação:

$$\text{Emissões CO}_2 = \text{dados actividade}_{\text{carbonatos}} \times \text{factor emissão}_{\text{CaCO}_3} \times \text{factor conversão} \quad (\text{Eq.36})$$

A calcite fornecida à empresa é constituída por 98,83 % de CaCO_3 , sendo que a parcela dados $\text{actividade}_{\text{carbonatos}} = 2,718 \times 10^{-1} \text{ kg}_{\text{CaCO}_3}$ corresponde à quantidade mássica de CaCO_3 presente na peça chacotada que é submetida a sinterização, como indicado na tabela 15. O factor emissão $_{\text{CaCO}_3}$ e o factor conversão, segundo a Decisão 2007/589/CE, assumem os respectivos valores de $0,440 \text{ kg}_{\text{CO}_2}/\text{kg}_{\text{CaCO}_3}$ e 1, respectivamente. O factor de conversão 1 reflecte o pressuposto de uma oxidação completa dos carbonatos.

Tabela 15. Quantidade mássica de CaCO_3 presente na peça a chacotar.

Quantidade mássica (kg)					
Composto	Barbotina nova	Caco	Barbotina remanescente	Perdas	Total
CaCO_3	$5,645 \times 10^{-2}$	$4,596 \times 10^{-2}$	$1,675 \times 10^{-1}$	$1,819 \times 10^{-3}$	$2,718 \times 10^{-1}$

A tabela 16 apresenta as emissões de CO_2 calculadas e inseridas no Gabi 4.3.

Tabela 16. Emissões de CO_2 de descarbonatação.

Emissões de CO_2 (kg)					
Composto	Barbotina nova	Caco	Barbotina remanescente	Perdas	Total
CaCO_3	$2,45 \times 10^{-2}$	$3,86 \times 10^{-2}$	$7,91 \times 10^{-4}$	$7,29 \times 10^{-2}$	$1,37 \times 10^{-1}$

6.2.11. Recolha de dados – transporte

Foi imperativo realizar uma recolha dos dados relacionados com o transporte (*inputs*) a introduzir no Gabi 4.3, processo identificado pelo algarismo 8 na árvore de processo da figura 34. Os veículos pesados de mercadorias para transporte terrestre foram seleccionados da base de dados do software, atendendo a dados fornecidos pela empresa e pelos fornecedores, respeitantes às cargas úteis e idades dos veículos. Para cada situação foi determinada a distância percorrida e a percentagem de percurso efectuado em zona rural, urbana e auto-estrada, com o apoio de um serviço de pesquisa e de visualização de mapas e imagens de satélite da Terra gratuito na Web, fornecido e desenvolvido pela empresa Google, correntemente conhecido por Google Maps [76]. Para as matérias-primas, assim como para a “Preparação do vidro”, “Produção de embalagem” e “Preparação do molde” foram consideradas as distâncias percorridas entre os fornecedores – empresa e empresa – fornecedores.

Quanto ao transporte do produto para o consumidor final foi considerado o percurso percorrido

empresa – plataforma logística e posteriormente plataforma logística – pontos de venda em Portugal, representado pelo processo “Disponibilização peça”.

Foi ainda definido o teor máximo de enxofre para o combustível (10 mg/kg) segundo o Decreto-Lei n.º 235/2004, de 16 de Dezembro.

A tabela 17 reúne a distância percorrida e a percentagem de percurso efectuado em diferentes vias rodoviárias para todos os processos de transporte considerados.

Tabela 17. Distância percorrida e distinção do percurso efectuado.

Transporte	Distância percorrida (km)	Percurso efectuado (%)		
		Auto-estrada	Rural	Urbano
Argila negra	155,6	86,0	7,0	7,0
Argila branca	155,6	86,0	7,0	7,0
Calcite	68,4	---	94,0	6,0
Caulino	91,4	---	95,0	5,0
Areia de sílica	91,4	---	95,0	5,0
Silicato de sódio	252,8	78,0	20,0	2,0
Gesso cerâmico	102,4	93,0	7,0	---
Vidrado	282,0	83,0	17,0	---
Embalagens	12,2	---	---	100,0
Produto para plataforma logística	2254,0	99,0	1,0	---
Disponibilização da peça	2155,0	99,0	1,0	---

O gás natural é transportado, segundo indicações da Galp Energia, por *pipeline* ao longo de aproximadamente 227,5 km de Sines até à unidade fabril.

Os processos “Energia eléctrica” e “Gás natural” dizem respeito a processos *cradle to gate* [77] (exploração mineira, transporte, tratamento das matérias-primas e produção dos vectores energéticos), desenvolvidos para Portugal, inseridos na base de dados do Gabi 4.3. O processo “Gasóleo” é, também, um processo *cradle to gate* que considera toda a cadeia de exploração, da extracção do crude até ao transporte para a refinaria e inerente processo produtivo [75].

6.2.12. Discussão de resultados

A modelação do ciclo de vida da peça cerâmica, ou seja, a elaboração do plano do ciclo de vida da peça e dos planos auxiliares no software Gabi 4.3, ilustrados nas figuras E.1, E.2 e E.3, permitiu realizar um balanço que engloba todos os resultados do sistema, do inventário de ciclo de vida (ICV) e da avaliação de impacto do ciclo de vida da peça (AICV).

Quanto ao método de avaliação de impactos para a categoria de impacto alterações climáticas – potencial de aquecimento global (PAG ou GWP em inglês) – ao longo de um período de 100 anos, seleccionou-se o método CML, Centre of Environmental Science, University of Leiden 2001-2007, abordagem, esta, orientada para os danos ambientais causados. Este modelo foi desenvolvido pelo Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) e contempla a classificação, caracterização e normalização. A caracterização descreve e quantifica o impacto ambiental, em que todas as emissões que contribuem para o efeito de estufa são convertidas através de um factor de caracterização para a unidade de referência $\text{kg}_{\text{CO}_2\text{e}}$. O factor de caracterização do PAG é determinado através do quociente entre a energia de radiação infravermelha absorvida, resultante da libertação instantânea de 1 kg de um dado gás, e a energia absorvida resultante da emissão de uma quantidade equivalente de CO_2 , integrado ao longo do tempo [78].

A normalização é uma etapa opcional que permite estabelecer uma comparação entre as diferentes categorias de impacto; no entanto, e uma vez que o presente estudo tem como intuito avaliar o impacto dos GEE na categoria de impacto PAG (pegada de carbono do produto), não se procedeu à normalização dos resultados obtidos.

6.2.12.1. Pegada de carbono da peça cerâmica

Como resultado do estudo, determinou-se uma pegada de carbono da peça cerâmica de $1,398 \text{ kg}_{\text{CO}_2\text{e}}/\text{peça}$. A figura 42 demonstra a contribuição de cada fase do ciclo de vida da peça cerâmica (fases estas consideradas aquando a limitação da fronteira do sistema e da árvore de processo). Determinou-se que a fase de produção é responsável por cerca 86 % da pegada de carbono da peça, a produção das matérias-primas e transporte para a unidade industrial é responsável por aproximadamente 8 % da pegada de carbono da peça e que a fase de distribuição é responsável pelos restantes 6 %.

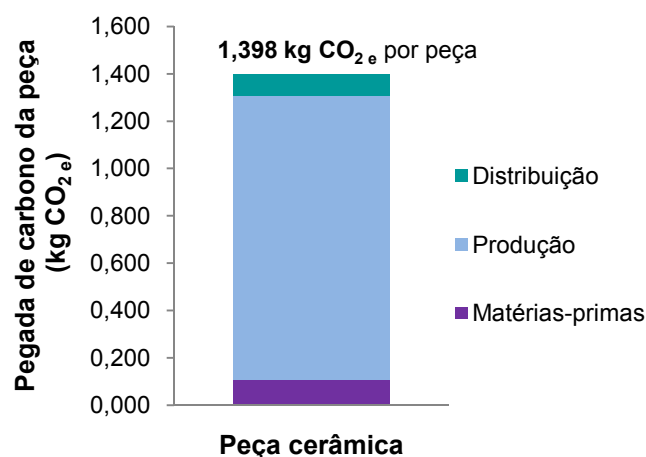


Fig. 42. Pegada de carbono da peça cerâmica.

6.2.12.2. Comunicação da pegada de carbono da peça ao cliente final

A pegada de carbono da peça cerâmica é passível de ser comunicada ao cliente final mediante certificação por rotulagem. O *Carbon Reduction Label* é atribuído pelo Carbon Trust após a verificação da metodologia PAS 2050:2008 utilizada e da quantificação da pegada de carbono do produto realizada pela empresa. Seguindo o código de boas práticas desenvolvido pelo Carbon Trust e pela Energy Saving Trust, a empresa pode optar por comunicar a pegada de carbono da peça cerâmica como um valor único de emissões de GEE por unidade funcional. O referido código refere que para pegadas de carbono superiores a 1,0 kg_{CO₂e}, o resultado a comunicar ao cliente final deve ser arredondado à décima. Neste sentido, a figura 43 representa o *Carbon Reduction Label* (etiqueta de carbono) a atribuir à peça cerâmica estudada, em que a empresa assume o compromisso com o cliente de reduzir a pegada de carbono, tendo sempre presente o conceito de desenvolvimento sustentável (através da perscrutação de medidas de eficiência energética) e informa-o das fases do ciclo de vida da peça considerada no estudo.

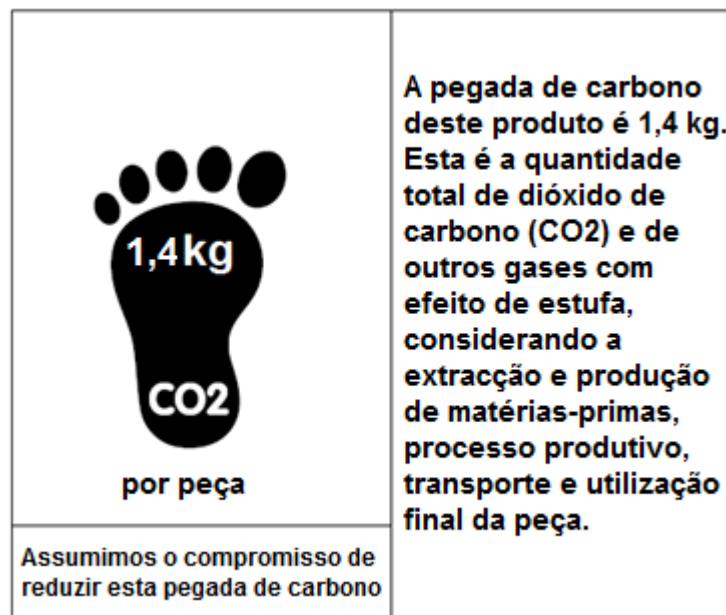


Fig. 43. Etiqueta de carbono a aplicar na peça cerâmica estudada.

6.2.12.3. Análise de pontos fracos – identificação de *hotspots*

Na perscrutação de medidas de eficiência energética ao longo do ciclo de vida da peça procedeu-se, através do Gabi 4.3, a uma análise de pontos fracos, ou seja, a uma identificação dos processos que correspondem a mais de 10 % do valor total da pegada de carbono da peça (*hotspots*).

A figura 44 apresenta a pegada de carbono da peça cerâmica (1,398 kg_{CO2e}/peça) desagregado pelos diferentes processos considerados na árvore de processo da peça. A análise de pontos fracos evidenciou que os *hotspots* residem nos seguintes processos:

- “Cozedura chacota”, com 0,374 kg_{CO2e}, responsável por 26,8 % da pegada de carbono;
- “Caldeira condensação”, com 0,234 kg_{CO2e}, representando 16,7 % da pegada de carbono;
- “Power grid mix”, com 0,230 kg_{CO2e}, representando 16,5 % da pegada de carbono;
- “Cozedura vidrado”, com 0,155 kg_{CO2e}, responsável por 11,1 % da pegada de carbono;
- “Natural gas mix”, com 0,146 kg_{CO2e}, responsável por 10,4 % da pegada de carbono.

Os restantes processos representados contribuem, individualmente, com proporções inferiores a 10 % para a totalidade de emissões de GEE. A contribuição do processo “Transporte embalagem”

pode ser ignorada, uma vez que contribui com uma percentagem muito inferior a 1 % (0,003 % da totalidade das emissões contabilizadas) para a pegada de carbono do produto determinada.

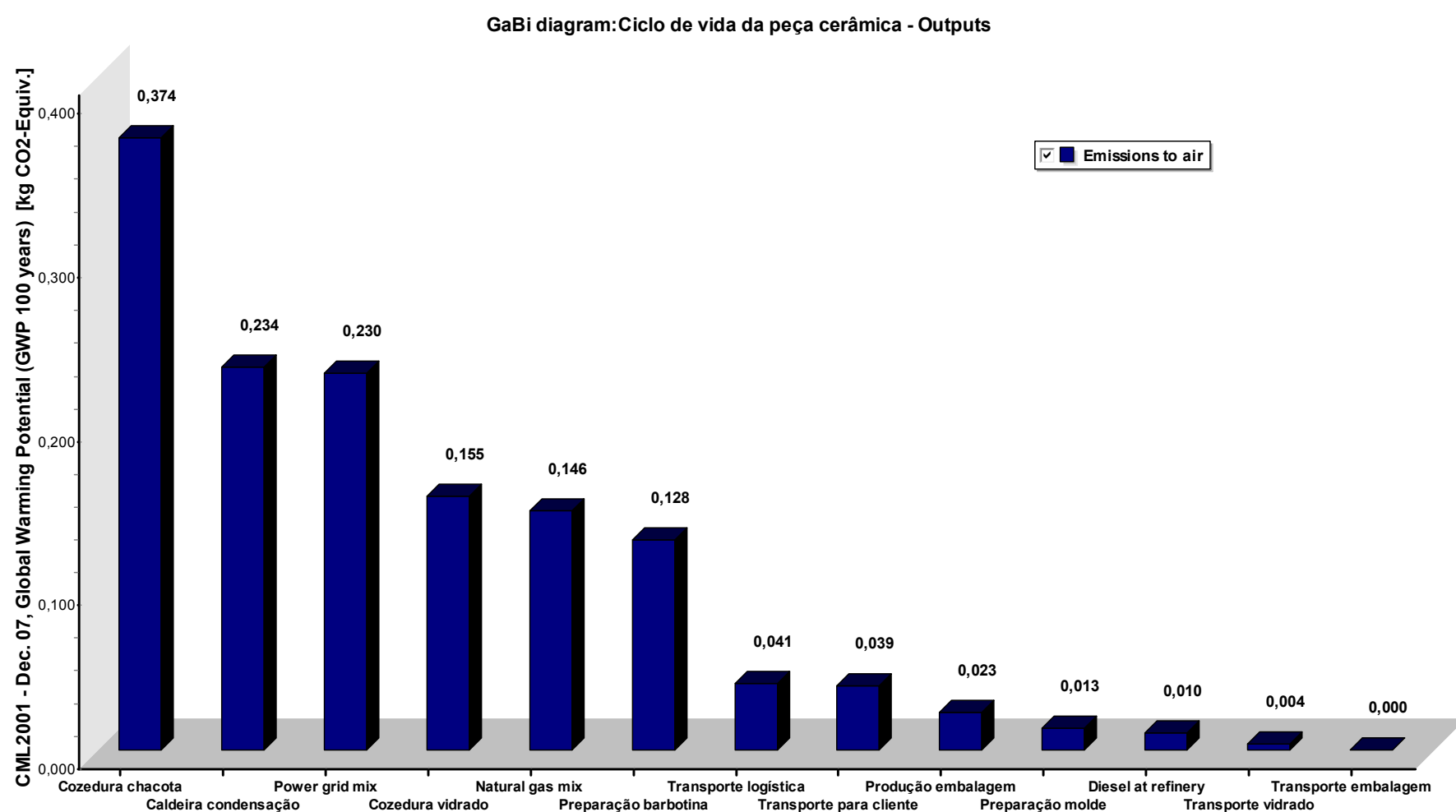


Fig. 44. Contribuição de cada processo para a quantificação da pegada de carbono da peça.

6.2.12.4. Emissões de reciclagem do produto

A reintrodução da barbotina remanescente da etapa de enchimento e do caco no processo produtivo correspondem à reciclagem em circuito fechado. É necessário ter presente que a reintrodução da barbotina remanescente e do caco no processo produtivo acarreta um consumo de energia e consequentemente emissões de CO₂ (E_R). Segundo a metodologia PAS 2050:2008 estas emissões devem ser identificadas e determinadas pela seguinte relação:

$$\text{Emissões GEE} = (1 - R_1) \times E_V + (R_1 \times E_R) \quad (\text{Eq.37})$$

em que

- R_1 representa a percentagem da barbotina remanescente e do caco reintroduzidos no processo,
- E_R representa as emissões de GEE resultantes da reintrodução da barbotina remanescente e do caco no processo produtivo,
- E_V representa as emissões resultantes da preparação da barbotina nova.

Sendo que R_1 é igual a 0,78 e que a tabela 18 reúne as emissões E_R e E_V determinadas pelo Gabi 4.3, obteve-se um valor de 0,033 kg_{CO₂e} para as emissões de GEE inerentes às actividades de reciclagem em *closed loop*, que correspondem a cerca de 2 % da pegada de carbono da peça cerâmica.

Tabela 18. Emissões de GEE resultantes da reintrodução da barbotina remanescente e caco (E_R) e da preparação da barbotina nova (E_V).

Barbotina remanescente + caco	E_R (kg _{CO₂e} /peça)	Barbotina nova	E_V (kg _{CO₂e} /peça)
Consumo de electricidade (retorno + preparação pasta)	0,041	Consumo de electricidade (preparação pasta)	0,007

6.2.12.5. Consumos energéticos

Relativamente aos consumos energéticos registados ao longo do ciclo de vida da peça, obteve-se um consumo total de 8,842 kWh/peça. A figura 45 mostra o referido consumo desagregado pelos vários processos considerados, destacando-se os seguintes consumos:

- “Natural gas”, com 3,524 kWh (processo *cradle to gate* do gás natural), responsável por

39,9 % do consumo total energético;

- “Cozedura chacota”, com 1,394 kWh, responsável por 15,8 % do consumo total energético;
- “Caldeira condensação”, com 1,068 kWh, responsável por 12,1 % do consumo total energético;
- “Cozedura de vidro”, com 0,714 kWh, responsável por 8,1 % do consumo total energético.

A análise de pontos fracos indica que a contribuição dos processos “Secagem branco”, “Acabamento”, “Preparação do molde”, “Embalagem peça”, “Transporte vidro”, “Vidragem”, transporte de gás natural por *pipeline* “Pipeline average” e “Transporte embalagem”, para a pegada de carbono da peça é desprezável, isto é, como estes processos apenas contribuem com proporções inferiores a 1 % para a totalidade de emissões de GEE calculadas, não devem ser concentrados quaisquer esforços para implementar medidas de eficiência energética nestes pontos.

O processo “Natural gas” – produção de gás natural – não é da responsabilidade da empresa em causa, e apesar do significativo consumo energético (39,9 % do consumo total de energia decorrente do ciclo de vida da peça), não é o processo da ACV da peça que mais contribui para a emissão de GEE, como ilustrado na figura 44. Assim sendo, reencaminharam-se os esforços de implementação de medidas de eficiência energética para os processos de cozedura e utilização da caldeira de condensação.

Atendendo aos consumos determinados pela metodologia apresentada na secção 6.2.5 e pela desagregação de consumos eléctricos no ponto 6.2.6, a figura 46 evidencia que o gás natural adquire particular importância com enfoque nos seguintes processos:

- “Cozedura chacota”, com 1,391 kWh;
- “Caldeira condensação”, com 1,067 kWh;
- “Cozedura vidro”, com 0,707 kWh.

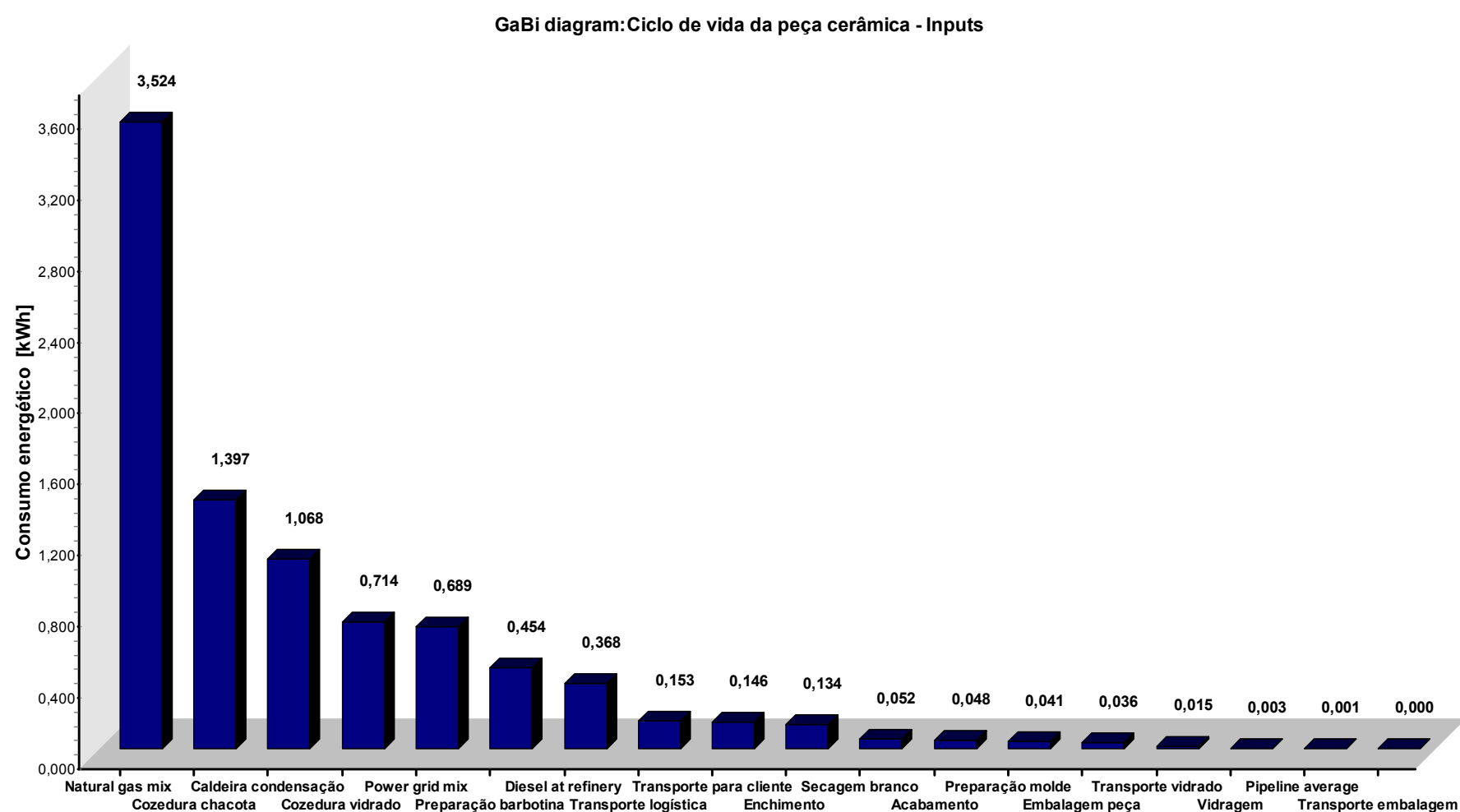


Fig. 45. Energia total consumida ao longo do ciclo de vida da peça.

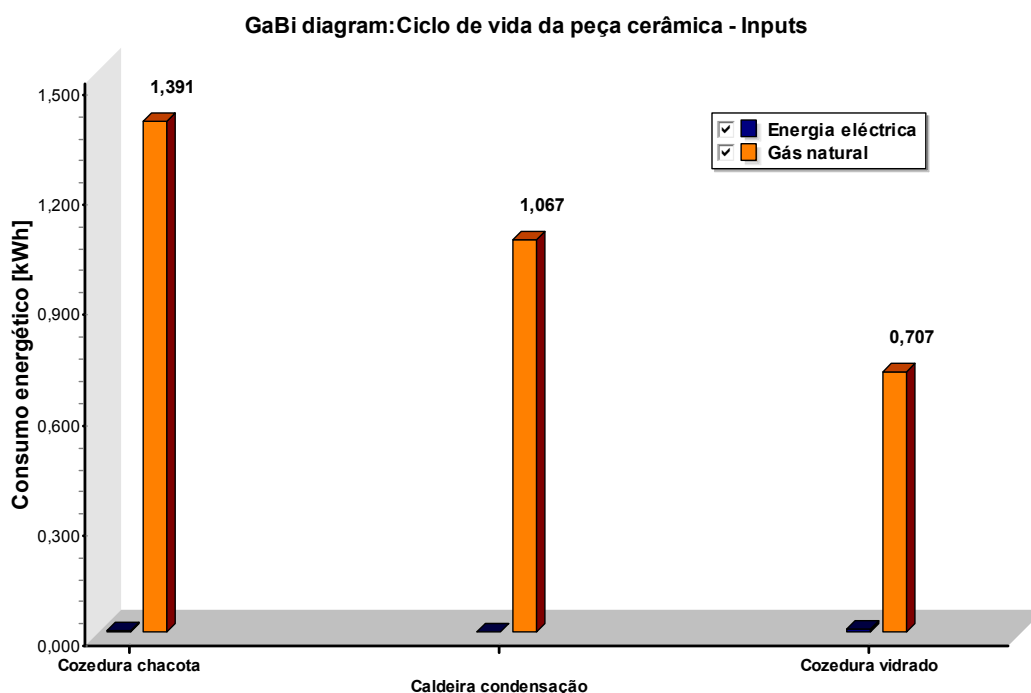


Fig. 46. Energia proveniente dos vários combustíveis utilizados no processo produtivo da peça.

6.2.12.6. Identificação de oportunidades de eficiência energética

Uma vez patenteado que a peça cerâmica acarreta um consumo de gás natural nos processos de cozedura de chacota de aproximadamente 16 % de toda a energia consumida ao longo do ciclo de vida do produto, e na perscrutação da redução da pegada de carbono da peça, tornou-se relevante indagar medidas de eficiência energética. Neste sentido, equacionou-se a optimização da curva de cozedura da chacota. A curva de cozedura temperatura-tempo estabelece a duração do ciclo (carga, entrada no forno, início do aquecimento, cozedura, arrefecimento, saída do forno e descarga), tendo em conta os pontos críticos do material submetido a tratamento térmico.

De modo a compreender o comportamento dos materiais constituintes da barbotina quando sujeitos a operações de aquecimento e arrefecimento, recorreu-se a uma Análise Termo-Gravimétrica (ATG) e a uma Análise Termo-Diferencial (ATD) [65]. A figura 47 retrata um ensaio realizado no Departamento de Cerâmica e Vidro da Universidade de Aveiro à barbotina da empresa, identificando-se as análises ATG e ATD.

A ATG demonstra a evolução da perda de massa da barbotina em função do aumento de temperatura, destacando-se a perda de massa verificada aquando a transformação alotrópica do quartzo por volta dos 573 °C e, posteriormente, aquando a decomposição dos carbonatos (perda ao rubro) na gama dos 800-900 °C.

A ATD refere-se à natureza termodinâmica das transformações ocorridas. É visível a clara natureza endotérmica da barbotina por volta dos 100 °C, a que corresponde a eliminação da água fisicamente ligada às partículas coloidais, ou retida entre elas, nos aglomerados. Também, a transformação alotrópica e a decomposição dos carbonatos são fortemente endotérmicas.

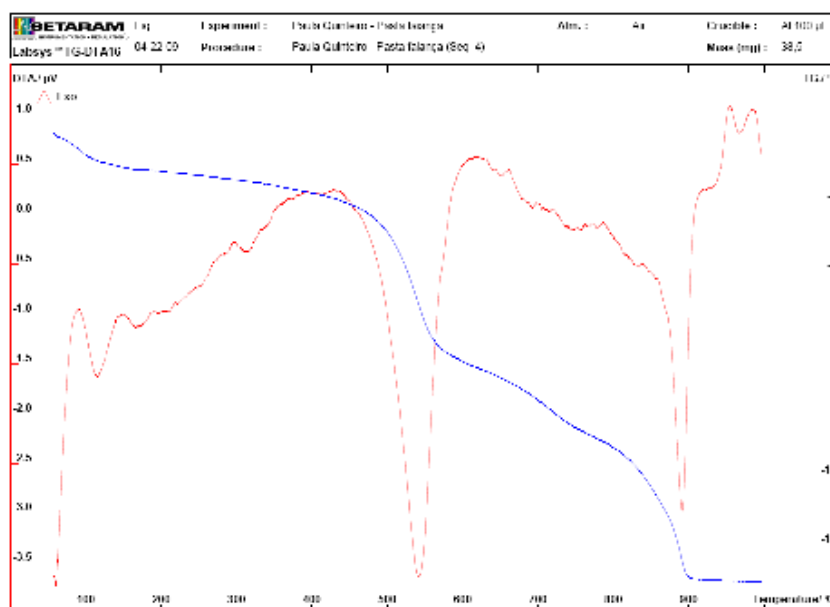


Fig. 47. Análise termo-gravimétrica (ATG) e Análise termo-diferencial (ATD) da barbotina.

As informações recolhidas pelas análises acima mencionadas reflectem-se no perfil das curvas de cozedura, nos valores admissíveis de subida e descida da temperatura e na temperatura máxima adequada ao tratamento térmico. Tendo em conta, para além da composição mineralógica da pasta, a forma e as dimensões das peças e as características do forno, a empresa estabeleceu a curva de cozedura. Numa tentativa de diminuir a intensidade energética por cozedura, e consequentemente a pegada de carbono da peça em estudo, procedeu-se à sua alteração.

Numa primeira fase colocaram-se anéis de Buller nas vagonetas de chacota com o intuito de determinar a temperatura média atingida, bem como os gradientes ocorridos. Posteriormente, diminuiu-se o tempo de patamar de 40 para 20 minutos, com o cuidado de aumentar a temperatura máxima de patamar para 1100 °C, de modo a garantir a ocorrência de todas as reacções químicas e físicas, sem por em causa a resistência mecânica das peças. Numa terceira fase, procederam-se a cozeduras de chacota e de novos anéis de Buller², a fim de determinar o

² Os anéis de Buller são anéis fabricados em materiais cerâmicos refractários, que traduzem um efeito conjugado do tempo e da temperatura – cronotermia – durante o ciclo térmico. Os anéis reagem ao efeito combinado da evolução da curva de temperatura característica do forno, da duração dos vários segmentos a atingir na cozedura, da densidade de carga do forno e do efeito da atmosfera presente no interior do forno [79]. Após o *terminus* do ciclo, os anéis são colocados num medidor de anéis que mede a retracção e compara-a com a retracção atingida por um anel idêntico, quando é aquecido a uma velocidade de 5 °C/min, até à temperatura indicada numa tabela de conversão específica.

efeito conjugado do tempo e da temperatura na atmosfera do forno. Em termos de temperatura média, registou-se um decréscimo de 11 °C comparativamente à temperatura média registada antes de alterar a curva de cozedura.

Quanto ao consumo de gás natural, verificou-se uma redução média de 0,395 kWh por cozedura. Aplicando a metodologia desenvolvida na secção 6.2.5, determinou-se que o consumo de gás natural no processo “Cozedura chacota” da peça cerâmica diminuiu para 1,364 kWh (redução de 2 %), resultando numa diminuição de 0,006 kg_{CO₂} emitido (2 % de 0,305 kg_{CO₂}). Cabe ao gestor de energia e ao departamento de qualidade aferir a exequibilidade de tal medida, atendendo ao interesse pela qualidade do produto, nomeadamente a porosidade e resistência mecânica.

Relativamente ao processo “Caldeira condensação” e para minimizar o funcionamento da caldeira de condensação, sugere-se a instalação de permutadores de calor nas chaminés dos fornos para aquecimento de água para a etapa de enchimento, tendo em atenção que esta medida pode resultar em alterações bruscas nas atmosferas no interior dos fornos e consequentemente a reestruturações das curvas de cozedura. Recomenda-se uma análise criteriosa alicerçada em balanços energéticos aos fornos, de modo a viabilizar a possibilidade de aproveitamento de energia térmica contida nos gases de combustão, tendo sempre presente que é necessário equacionar o balanço entre os benefícios a auferir e o inerente investimento necessário em bens materiais e imateriais.

7. Conclusões

A escassez dos combustíveis fósseis e os efeitos da poluição atmosférica ao nível da escala global, nomeadamente o incremento do efeito de estufa, conduziu à necessidade de abordar estes problemas de uma forma integrada, estabelecendo estratégias concertadas no plano internacional na perscrutação de uma política de desenvolvimento sustentável.

A inquestionável premência em desenvolver e implementar estratégias de sustentabilidade energética e ambiental e a tomada de consciência do consumidor final em adquirir produtos ambientalmente sustentáveis, levou a que a comunidade industrial direccionasse esforços de sinergia com as entidades estatais, as associações industriais, a comunidade académica, os fornecedores e todas as partes interessadas, numa perscrutação da criação de modelos/normas internacionais robustas, precisas e credíveis para quantificar a pegada de carbono do produto ao longo do seu ciclo de vida. A pegada de carbono de um produto consiste na quantificação das emissões de CO₂ e de outros gases com efeito de estufa (GEE) considerados no protocolo de Quioto ao longo de toda a vida de um produto, desde a extracção das matérias-primas, passando pelo processo produtivo até à sua utilização final e reutilização, reciclagem e/ou deposição final.

Na perspectiva de um desenvolvimento sustentável, competitividade e marketing (fidelização de clientes e/ou penetração de novos mercados), é imperial desenvolver uma metodologia transversal a todos os sectores, que seja reconhecida em todo o mundo, que contemple uma plataforma de comunicação clara, concisa e credível, permitindo ao consumidor fazer uma escolha consciente. Neste sentido, o Department for Environment, Food and Rural Affairs (Defra) e o Carbon Trust em estreita colaboração e supervisão com o British Standards Institution (BSI) desenvolveram e publicaram, em Outubro de 2008, a metodologia PAS 2050:2008 – especificações para a avaliação das emissões de GEE de bens e serviços ao longo do seu ciclo de vida, alicerçada nas ISO 14040:2006 e 14044:2006. Trata-se do primeiro documento com directrizes para a normalização nacional e internacional, isto é, para a criação de princípios fundamentais e consistentes a aplicar transversalmente à enorme gama de produtos disponíveis no mercado.

O subsector da cerâmica utilitária e decorativa e em particular a Faianças J. Barreiro, Lda. reconhece a relevância da temática em causa. A organização em causa dedica-se ao fabrico de artigos cerâmicos de ornamentação em faiança (jarras, copos, pratos, vasos decorativos, etc.) destinados ao mercado externo.

No que concerne à situação energética da empresa, e em termos de energia primária, a empresa apresentou um consumo de 335,42 tep para 2007 e 396,51 tep para 2008. Tal significa que a organização não está abrangida pelo Sistema de Gestão dos Consumos Intensivos de Energia (SGCIE), uma vez que o consumo de energia primária não ultrapassa os 500 tep/ano. Relativamente à distribuição da estrutura de consumos, o gás natural representa 83 % e 85 % dos

consumos com a energia, sendo o vector energia eléctrica responsável pelos restantes 17 % e 15 %, para o ano de 2007 e 2008, respectivamente.

Assim sendo, esta dissertação teve os seguintes objectivos:

- quantificar a pegada de carbono de uma peça cerâmica de ornamentação de faiança da Faianças J. Barreiro, Lda., com o intuito de uma posterior comunicação ao cliente final;
- identificar *hotspots*, isto é, locais onde existem consideráveis consumos de energia e/ou picos de emissões de GEE e onde podem ser tomadas medidas de eficiência energética para, assim, mitigar as referidas emissões.

7.1. Quantificação da pegada de carbono

A peça cerâmica, produzida pela Faianças J. Barreiro, Lda., seleccionada para a quantificação da pegada de carbono é um vaso de ornamentação, tem como massa final 0,417 kg, dimensão cúbica 10×10×10 cm, pertence à linha “Quadro” e tem como referência de produção e de expedição para a plataforma logística o número 4601005, em que o 005 identifica a cor da peça – branco. Para a produção da peça cerâmica em questão são necessárias cinco operações essenciais: preparação da barbotina, conformação por enchimento (formação da peça com a barbotina preparada previamente), acabamento (remoção de rebarbas da peça e esponjagem), tratamento térmico (engloba a cozedura da peça chacotada e posteriormente da peça vidrada) e vidragem por mergulho.

De acordo com a PAS 2050:2008, para a quantificação da pegada de carbono e após a selecção da peça a analisar, procedeu-se:

- à definição da unidade funcional;
- à delimitação da fronteira do sistema;
- à elaboração da árvore de processo;
- à recolha dos dados primários e secundários;
- ao cálculo da pegada de carbono da peça.

A unidade funcional definida foi a própria peça cerâmica, referência 4601005, ou seja, todos os *inputs* (quantidades de matérias-primas, consumos energéticos e emissões de GEE para a produção da peça cerâmica em estudo) recolhidos e/ou calculados e introduzidos pelo utilizador no software Gabi 4.3 (software alemão desenvolvido pela empresa PE INTERNATIONAL que permite proceder a uma ACV respeitando os critérios especificados na metodologia PAS 2050:2008) dizem respeito à peça seleccionada. Também as emissões de GEE decorrentes da

avaliação de ciclo de vida (ACV) do produto foram reportadas em termos de quilograma de CO₂ equivalente por peça (kg_{CO₂}e/peça).

Após a definição da unidade funcional, foi delimitada a fronteira do sistema que define quais as fases do ciclo de vida, as entradas e as saídas que devem ser incluídas na avaliação. Uma vez que, para a peça cerâmica em estudo, não existe fronteira do sistema delineada segundo o *Product Category Rule* (PCR), desenvolvido em conformidade com a norma britânica ISO 14025:2006, que estabelece os princípios e procedimentos para o rótulo ambiental tipo III – Declarações Ambientais do Produto (EPDs), procedeu-se à definição da fronteira do sistema atendendo ao ciclo de vida da peça, ou seja, ao conhecimento do processo produtivo da empresa, dos materiais utilizados, dos fornecedores vinculados, da distribuição do produto para o mercado, da fase de utilização e deposição final. Foram excluídos os seguintes processos da fronteira do sistema:

- a fase de utilização da peça – foi admitido que a utilização da peça não acarreta qualquer consumo de energia ou emissões de GEE;
- a deposição final – foi considerado o pressuposto de que existe separação de resíduos e que a peça cerâmica tem como destino final a co-incineração na indústria cimenteira, o que significa que as emissões resultantes da queima devem ser consideradas aquando a quantificação da pegada de carbono do produto resultante da indústria cimenteira;
- a produção do vidro e os consumos energéticos inerente à produção da embalagem para expedição da peça;
- o transporte do consumidor para adquirir o produto e a deslocação dos colaboradores de e para o local de trabalho, em concordância com as directrizes da PAS 2050:2008.

De seguida elaborou-se a árvore de processo que assumiu a função de guia, uma vez que permitiu traçar um mapa onde constam todos os processos que ocorrem ao longo do ciclo de vida da peça estudada, permitindo, assim, a recolha de todos os dados essenciais ao cálculo da pegada de carbono da peça.

Os dados de actividade posteriormente recolhidos consistiram na inventariação de todas as quantidades de material e energia envolvidas no ciclo de vida da peça cerâmica (fluxos mássicos, consumo de energia, transporte, distribuição, etc.). Para tal foram privilegiados os dados primários, isto é, valores directamente medidos ao longo do ciclo de vida do produto. Quando tal não foi possível, foram considerados dados secundários provenientes de estudos de ACV de associações industriais (caso das emissões de GEE resultantes da produção de embalagem cartonada para distribuição da peça e da produção *cradle to gate* das matérias-primas argila negra, argila branca, calcite e silicato de sódio) e de base de dados de ACV disponibilizadas online pela plataforma da Comissão Europeia para análise de ciclo de vida (caso da produção *cradle to gate* de gesso

cerâmico para a preparação do molde para conformar a peça na etapa de enchimento do processo produtivo da empresa).

No que concerne ao processo produtivo da unidade industrial e uma vez que não existe um sistema de monitorização contínuo de consumos energéticos e emissões de CO_{2e}, foi imperativo aplicar uma metodologia que permitisse auferir a quantificação dos vectores energéticos e emissões de CO_{2e} ao longo do processo produtivo atendendo à unidade funcional definida.

Para tal foram reunidas as facturas energéticas e a produção da empresa para o ano de 2008 e realizados ensaios experimentais a fim de determinar a massa e o volume das peças cozidas por ciclo de cozedura, quer de chacota quer de vidrado, e os respectivos consumos de gás natural. Os ensaios efectuados adquirem extrema relevância para a metodologia desenvolvida, uma vez que a sinterização (tratamento térmico) representa a operação “chave” que permite as transformações necessárias para a utilização final da peça e é responsável por cerca de 79 % do consumo total de gás natural na unidade fabril, ou seja, cerca de 267 tep.

Com a informação de base recolhida (facturas energéticas, produção e ensaios nos fornos), obtiveram-se coeficientes de consumo de energia eléctrica e de gás natural por unidade de massa, volume ou pela mera existência da peça, os quais permitiram estabelecer uma fórmula de cálculo. Assim, mediante a massa (0,417 kg) e volume (0,001 m³) final de peça torna-se possível auferir-se os *outputs* pretendidos: consumos energéticos para gás natural e energia eléctrica e emissões de CO_{2e}. Os consumos energéticos da energia eléctrica foram desagregados atendendo à árvore de processo traçada, a medições experimentais e a estimativas empíricas resultantes da observação do *modus operandi* da organização e em particular do seu processo produtivo.

Para além das emissões de CO_{2e} resultantes do consumo de energia, e atendendo às características do processo produtivo, foi, ainda, necessário quantificar as emissões de CO₂ provenientes do processo de descarbonatação da peça chacotada aquando o tratamento térmico. Aquando a cozedura da peça chacotada, ocorre a decomposição da calcite (matéria-prima constituinte da barbotina) em CaO e CO₂. Seguindo o método A: carbono entrado, presente na Decisão 2007/589/CE, determinou-se um valor de emissão de 0,137 kg_{CO₂}.

Após a recolha de todos os dados, procedeu-se ao cálculo da pegada de carbono da peça com o auxílio do software Gabi 4.3. No estudo realizado, esta ferramenta facultou uma análise detalhada da categoria de impacte ambiental efeito de estufa – potencial de aquecimento global (PAG) –, identificando-se *hotspots* no sistema delimitado.

Concludentemente, determinou-se a pegada de carbono da peça cerâmica, tendo-se obtido um valor total de 1,398 kg_{CO_{2e}}/peça. Verificou-se que a fase de produção é responsável por cerca de 86 % da pegada de carbono da peça.

Numa perspectiva de certificação da peça com uma etiqueta de carbono e atendendo a que a metodologia PAS 2050:2008 não contempla os requisitos para a comunicação do resultado obtido,

foi utilizado o código de boas práticas *Code of Good Practice for product GHG emissions and reduction claims*, desenvolvido pelo Carbon Trust e a Energy Saving Trust. Este código refere que para pegadas de carbono acima de 1,0 kg_{CO₂e}, o resultado a comunicar ao cliente final deve ser arredondado à décima; logo o valor a comunicar é de 1,4 kg_{CO₂e}/peça. O Carbon Trust verifica a metodologia utilizada e resultados obtidos e, face ao cumprimento das indicações do código de boas práticas, a entidade em causa atribui a certificação carbónica, autorizando a aplicação do rótulo *Carbon Reduction Label* na peça cerâmica.

De forma a identificar os *hotspots* e, consequentemente, as fases do ciclo de vida onde devem ser focalizados esforços para fomentar a eficiência energética, procedeu-se a uma análise de pontos fracos no software Gabi 4.3. Identificaram-se os seguintes *hotspots* de emissões de GEE:

- “Cozedura chacota”, com 0,374 kg_{CO₂e}, responsável por 26,8 % da pegada de carbono;
- “Caldeira condensação”, com 0,234 kg_{CO₂e}, representando 16,7 % da pegada de carbono;
- “Power grid mix”, com 0,230 kg_{CO₂e}, representando 16,5 % da pegada de carbono;
- “Cozedura vidrado”, com 0,155 kg_{CO₂e}, responsável por 11,1 % da pegada de carbono;
- “Natural gas mix”, com 0,146 kg_{CO₂e}, responsável por 10,4 % da pegada de carbono.

A metodologia PAS 2050:2008 recomenda a identificação das emissões de GEE resultantes da reciclagem em circuito fechado, *closed loop* – em que a barbotina remanescente e o caco são reintroduzidos no ciclo produtivo, em particular na preparação da barbotina. Determinou-se uma emissão de 0,033 kg_{CO₂e} decorrente das actividades de reciclagem em *closed loop*, correspondendo a 2 % da pegada de carbono da peça (1,398 kg_{CO₂e}/peça).

Relativamente à energia consumida ao longo do ciclo de vida da peça cerâmica, auferiu-se um consumo energético de 8,842 kWh/peça. Desagregando este consumo e direccionando os esforços de implementação de medidas de eficiência energética para o processo produtivo da empresa, conclui-se que seria interessante avaliar uma possível alteração da curva de cozedura de chacota. A realização de ensaios experimentais permitiu diminuir o tempo de patamar da curva de cozedura em 20 minutos, tendo-se aumentado a temperatura máxima de patamar para 1100 °C, de modo a garantir a ocorrência de todas as reacções químicas e físicas, sem por em causa a resistência mecânica das peças. Tal alteração conduziu a um decréscimo no consumo de gás natural de 2 % face ao consumo (1,391 kWh) determinado aquando a quantificação da pegada de carbono da peça. Posto isto, é da responsabilidade do gestor de energia e do departamento de qualidade avaliar a exequibilidade de tal medida, atendendo à qualidade do produto, nomeadamente a resistência mecânica.

Quanto às dificuldades na aplicação da metodologia PAS 2050:2008 à quantificação da pegada de carbono da peça cerâmica, salienta-se a ausência de indicações e de uma metodologia para mensurar as emissões de CO₂ resultantes do processo de descarbonatação do carbonato de cálcio aquando a sinterização da peça chacotada. As referidas emissões foram calculadas através do método contemplado na Decisão de monitorização 2007/589/CE, método A, baseado na quantidade de carbono das matérias-primas convertidas no ciclo produtivo, tendo sido determinado um valor de 0,137 kg_{CO₂}, correspondendo a 10 % da pegada de carbono da peça.

7.2. Desenvolvimentos futuros

A pluralidade de dados primários (medidos directamente) e secundários (provenientes de diversas bases de dados) a recolher para a quantificação da pegada de carbono de um produto conduz a uma incerteza associada ao resultado obtido.

Numa perspectiva de obter pegadas de carbono de produtos mais fiáveis e fidedignas que permitam tomar decisões o mais críveis possíveis ao nível de comparação entre produtos substitutos e concorrentes será pertinente efectuar a análise de incerteza pelo método de Monte Carlo (passo opcional no cálculo da pegada de carbono de um produto de acordo com o guia para as organizações PAS 2050:2008 – *“How to assess the carbon footprint of goods and services”*).

Por outro lado, uma monitorização contínua dos consumos energéticos e emissões de CO_{2e} ao longo do processo produtivo da peça cerâmica permitirá uma recolha de dados predominantemente primários. Tal permitirá a minimização da variabilidade da qualidade dos dados recolhidos e consequentemente da incerteza associada a cada dado, contribuindo assim para uma quantificação da pegada de carbono mais precisa e exacta.

8. Referências

1. Diniz Maria Emília, Tavares Adérito, Caldeira Arlindo M., ed. *História 8*. 1997, Editorial O Livro: Lisboa. pp. 178.
2. United Nations, Department of Economic and Social Affairs, *World Population Prospects: The 2008 Revision, Highlights*. 2009: New York. p. 8.
3. Comissão Mundial Sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, *Nosso Futuro Comum*, Vargas, Editora Da Fundação Getulio, Editor. 1991: Rio de Janeiro.
4. Arbués Moreira Carlos de, *Desenvolvimento Sustentável – Um conceito no limiar da utopia*. 2005. pp.8-10.
5. Álvares Luís Rochartre, Azevedo Susana, Tavares João, *Manual de Boas Práticas de Eficiência Energética*. 2005, Conselho Empresarial para o Desenvolvimento Sustentável.
6. Carbon Trust, *Carbon footprinting 2009* [cited 2010 13 Janeiro]; Available from: <http://www.carbontrust.co.uk>.
7. Instituto Nacional de Estatística, *Energia Primária*. [cited 2010 3 de Janeiro]; Available from: <http://metaweb.ine.pt/sim/conceitos>.
8. Directorate-General for Energy and Transport, European Commission. *Statistical pocketbook 2009*. Available from: http://ec.europa.eu/energy/index_en.htm.
9. International Monetary Fund, *World Economic Outlook*. 2009 [cited 2010 7 Janeiro]; Available from: <http://www.imf.org>.
10. Ministério da Economia, da Inovação e do Desenvolvimento, *Estratégia Nacional de Energia 2020 – ENE 2020*. 2010.
11. Fernandes Maria Isabel, Sousa Augusto Vaz, Dias António Manuel, ed. *Impactes Ambientais e Comércio de Emissões – Indústria Cerâmica: um caso de estudo*. ed. Centro Tecnológico da Cerâmica e do Vidro – CTCV, Associação Portuguesa da Indústria Cerâmica – Apicer. 2004, OficialDesign, Lda: Coimbra.

-
12. Working Group I Contribution to the Fourth Assessment Report of the IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change ed. *Climate Change 2007 – The Physical Science Basis*. 2007, Cambridge University Press: Cambridge.
 13. Intergovernmental Panel on Climate Change, *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories – Energy*. 2006: Hayama.
 14. International Energy Agency, *World Energy Outlook 2009 Fact Sheet*. 2009: Paris.
 15. Público. *Emissões mundiais de CO₂ deverão cair três por cento este ano por causa da crise* 2009, 6 Outubro 2009 [cited 2010 6 Janeiro].
 16. Sociedade Portuguesa de Inovação, *Plano Estratégico para o Sector da Cerâmica em Portugal*. 2009.
 17. Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro, *Gestão da Qualidade do Ar*. 2009.
 18. Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional, *Estado do cumprimento do Protocolo de Quioto*. 2008.
 19. Comissão para as Alterações Climáticas, *Sistema de Previsão do Cumprimento de Quioto*. 2010 [cited 2010 17 Janeiro]; Available from: <http://www.cumprirquioto.pt>
 20. Almeida Marisa, Frade Pedro, Heitor Ana, *Quantificação de CO₂ na indústria cerâmica e estratégias para a sua gestão*, Centro Tecnológico da Cerâmica.
 21. Ecoprogresso, *Bluenext inicia transacções spot de CERs*, in *Eco news*, Ecoprogresso. 2008.
 22. Bluenext, *Bluenext and Citi's first ERU auction 4.7 times oversubscribed*. 2010.
 23. União Europeia, *Decisão 2007/589/CE que estabelece orientações para a monitorização e a comunicação de informações relativas às emissões de gases com efeito de estufa, nos termos da Directiva 2003/87/CE do Parlamento Europeu e do Conselho*. 2007, Jornal Oficial da União Europeia.
 24. Leguet Benoît, *Copenhagen: A stab in the dark?* Tendances Carbone – The monthly on the European Carbon Market, 2010. 43.

-
25. Conference of the Parties – Fifteenth Session, *Copenhagen Accord*. 2009: Copenhaga.
 26. United Nations Framework Convention on Climate Change, *Information provided by Parties to the Convention relating to the Copenhagen Accord* [cited 2010 2 Fevereiro]; Available from: <http://unfccc.int/>.
 27. Castelo Carla. *O Acordo de Copenhaga*. 2009 [cited 2010 24 de Janeiro]; Available from: <http://sic.sapo.pt/online/noticias>.
 28. *Sociedade e Vida – Produção de emissões já com compromissos de Copenhaga*. Jornal de Notícias, 2010: p. 33.
 29. (SAIC) Scientific Applications International Corporation, *Life Cycle Assessment: Principles and Practice*, National Risk Management Research Laboratory, Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency, Editor. 2006: Cincinnati, Ohio.
 30. Lopes E., Arroja L., et al., *Application of life cycle assessment to the Portuguese pulp and paper industry*. Journal of Cleaner Production, 2003. 11(1): p. 51-59.
 31. Instituto Português da Qualidade, *ISO 14040:2006 Avaliação do Ciclo de Vida – Princípios e enquadramento*. 2008.
 32. Ferreira José Vicente Rodrigues, *Análise de Ciclo de Vida de Produtos*. 2004: Instituto Politécnico de Viseu.
 33. Parlamento Europeu e Conselho União Europeia, *Regulamento (CE) n.º 1980/2000, relativo a um sistema comunitário revisto de atribuição de rótulo ecológico*. 2000, Jornal Oficial das Comunidades Europeias.
 34. European Commission. *O catálogo do rótulo ecológico europeu*. 2002 [cited 2010 27 Janeiro]; Available from: <http://www.eco-label.com/>.
 35. *Novycera lança Limpador de Madeira Ecológico*. 2010 [cited 2010 3 Fevereiro]; Available from: <http://www.flima.pt/>.
 36. *Decisão da Comissão, que estabelece os critérios ecológicos para a atribuição do rótulo ecológico comunitário a revestimentos duros para pavimentos*. 2002, Jornal Oficial das Comunidades Europeias.

-
37. Studio LCE, Swedish Environmental Management Council, *Study for the EU Ecolabel Carbon Footprint Measurement Toolkit* 2008.
 38. European Commission, *Industry and Technology – EU Ecolabel*. 21 Dezembro 2009 [cited 2010 27 Janeiro]; Available from: <http://ec.europa.eu/environment/ecolabel/>.
 39. Carbonfund.Org Foundation, *CarbonFree™ Product Certification – Carbon Footprint Protocol*. 2007.
 40. Carbonfund.Org Foundation, *Annual Report 2008 – Fighting Global Warming*. 2009.
 41. Climate Change Corp, *Summary of global carbon labels*. [cited 2010 1 Fevereiro]; Available from: <http://www.climatechange corp.com>.
 42. *Nature's Oldest Sweetener*. [cited 2010 2 Fevereiro]; Available from: <http://www.floridacrystals.com/>.
 43. WRI & WBCSD, *Greenhouse Gas Protocol Product/Supply Chain Initiative, Stakeholder Advisory Group Workshop*. 2009.
 44. World Business Council for Sustainable Development, *Protocolo de Gases com Efeito de Estufa – Normas Corporativas de Transparência e Contabilização*. 2005.
 45. Carbon Trust, *Carbon footprinting – An introduction for organisations*. 2007.
 46. European Commission Centre – Joint Research, *Carbon Footprint – what it is and how to measure it*. 2009.
 47. DG Environment, *Commission coordination meeting on the carbon footprint measurement of products* 2008.
 48. BASF SE, *Insulation Material Neopor by BASF SE – Case Study undertaken within the PCF Pilot Project Germany*. 2008.
 49. PCF Pilot Project Germany, *Project Initiators*. 2010 [cited 2010 28 Janeiro]; Available from: <http://www.pcf-projekt.de>.
 50. Rasmus Prieß, Christian Hochfeld, *Product Carbon Footprint*. 2009: Berlim.

-
51. DSM Corporate, *DSM Oenology* 29 Janeiro 2010 [cited 2010 28 Janeiro]; Available from: <http://www.dsm.com>.
 52. Bosselmann Dr. Andreas, *Product Carbon Footprint Pilotprojekt – FRoSTA Gericht Tagliatelle Wildlachs*. 2009.
 53. Wientjes Fokko, *Product Carbon Footprint Pilotprojekt – DSM Claristar™ wine stabiliser*. 2009.
 54. Royal Dsm N.V., *Case Study Claristar™ Wine Stabilizer by DSM*. 2009.
 55. PCF Pilot Project Germany, *Product Carbon Footprinting – The Right Way to Promote Low Carbon Products and Consumption Habits?* 2009.
 56. Carbon Trust, *Working with Boots – Product carbon footprinting in practice*. 2008.
 57. Carbon Trust, *Working with PepsiCo and Walkers – Product carbon footprinting in practice*. 2008.
 58. British Standards Institution, *Guide to PAS 2050, How to assess the carbon footprint of goods and services*. 2008.
 59. British Standards Institution, *PAS 2050:2008 – Specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services*. 2008.
 60. EPD – the Green Yardstick, *Search for PCR*. [cited 2010 2 Fevereiro]; Available from: <http://www.environdec.com>.
 61. Fet Annik Magerholm, Skaar Christofer, Michelsen Ottar, *Product category rules and environmental product declarations as tools to promote sustainable products: experiences from a case study of furniture production*. Clean Technologies and Environmental Policy, 2008. 11(Number 2, June 2009): p. 201-207.
 62. Carbon Trust, *Code of Good Practice for Product Greenhouse Gas Emissions and Reduction Claims*, in *Guidance to support the robust communication of product carbon footprints*. 2008.
 63. Barboza Elza Maria Ferraz, *Rotulagem Ambiental – Rótulos ambientais e Análise do Ciclo de Vida (ACV)*. 2001, IBICT.

-
64. Salles Ana Claudia Nioac de, *Emissões de Gases do Efeito Estufa dos Dormentes de Ferrovia de Madeira Natural e de Madeira Plástica no Brasil e na Alemanha com base nos seus Ciclos de Vida* in Instituto Alberto Luiz Coimbra. 2009, Universidade Federal do Rio de Janeiro.
65. Fonseca António Tomás da, *Tecnologia do Processamento Cerâmico*. 2000, Universidade de Aveiro.
66. Aiazzi G. E F., *Tecnologia Ceramica – La Stoviglieria*. 1998: Faenza Editrice.
67. Quinteiro Paula S. G. N., Araújo António J. M. M., Martins Nelson, *Consumos Energéticos e emissões de CO₂ na Produção de Artigos Cerâmicos de Ornamentação de Faiança* in *Conferência Engenharia'2009 – Inovação & Desenvolvimento*. 2009: Universidade da Beira Interior – Covilhã.
68. ISO/TC 207 Environmental Management, *15th Annual Meeting of ISO Technical Committee 207 on Environmental Management*. 2008.
69. IMA-Europe. *Sustainable Development*. [cited 2010 16 Março]; Available from: <http://www.ima-eu.org>.
70. Fawer Matthias, Concannon Martin, Rieber Wolfram, *Life Cycle Inventories for the Production of Sodium Silicates*. The International Journal of Life Cycle Assessment, 1999. 4: p. 207-212.
71. Incropera Dewitt, Bergman Lavine, *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*. 502,503.
72. Matos M. Arlindo, *Combustão de Combustíveis – Apontamentos da disciplina de Conversão de Energias Convencionais*. 2008: Universidade de Aveiro.
73. Pro Carton, *Methodology of Pro Carton's Footprint for Cartons*. 2010 [cited 2010 2 de Abril]; Available from: <http://sustainability.procarton.com>.
74. Pro Carton, *Sustainability and Cartonboard Packaging*. 2007.
75. Institute for Environment and Sustainability, European Commission, *LCA Tools, Services and Data*.
76. Google Maps. [cited 2010 17 Março]; Available from: <http://maps.google.pt>.

-
77. PE International – Experts in Sustainability, *Handbook for Life Cycle Assessment (LCA)*, in *Using the GaBi Education Software Package*. 2009.
78. Pereira Antunes, *Introdução à Avaliação do Ciclo de Vida (ACV)*. 2005: Departamento de Ambiente e Ordenamento, Universidade de Aveiro.
79. Tunncliff Taylor. *The quality standard*. [cited 11 Março 2010]; Available from: <http://www.taylortunncliff.co.uk>.

Anexo A – Dados primários da empresa

Tabela A. 1. Produção expedida, número de peças e facturas energéticas, para o ano de 2008.

Mês	Produção expedida (kg)	Número de peças	E. eléctrica (kWh)	Gás natural (m ³)
Janeiro	36313	58000	19962	36104
Fevereiro	44328	72277	30529	28263
Março	32848	72225	24610	31848
Abril	36566	62989	21432	31927
Maio	28277	54225	20718	26596
Junho	35261	60900	20930	27995
Julho	35664	69255	12651	18226
Agosto	12146	20107	15340	16739
Setembro	26718	43367	18805	27748
Outubro	37069	55161	21804	28232
Novembro	32657	54660	21801	26981
Dezembro	12414	20163	19138	18575

Tabela A. 2. Ensaaios experimentais aos fornos, registo da massa, volume e consumo de gás natural.

Forno chacota		Forno vidrado		
Massa desenformada (kg)	Consumo de gás (m ³)	Massa desenformada (kg)	Volume (m ³)	Consumo de gás (m ³)
900	258	775	5,44	246
915	262	723	4,65	217
1030	272	866	4,99	218
796	223	856	4,46	205
962	246			

Anexo B – Preparação de barbotina

Tabela B. 1. Temperatura e densidade da água necessária para a preparação da barbotina.

$T_{\text{H}_2\text{O}}(^{\circ}\text{C})$	$\rho_{\text{H}_2\text{O}}(\text{kg/m}^3)$
22,0	997,77

Tabela B. 2. Tipo e quantidade de combustíveis utilizados nos processos *cradle to gate* das matérias-primas.

Energia (MJ)	Agila negra	Agila branca	Calcite	Energia (MJ)	Silicato de sódio
Crude oil free customer Portugal [Crude oil products]	$9,622 \times 10^{-3}$	$6,262 \times 10^{-3}$	$9,358 \times 10^{-3}$	Diesel [Crude oil products]	$1,846 \times 10^{-4}$
Hard coal Portugal [Hard coal (resource)]	$4,950 \times 10^{-3}$	$3,221 \times 10^{-3}$	$9,814 \times 10^{-3}$	Hard coal Portugal [Hard coal (resource)]	$3,795 \times 10^{-4}$
Lignite EU-25 [Lignite products]	$3,417 \times 10^{-3}$	$3,190 \times 10^{-3}$	$6,746 \times 10^{-3}$	Heavy fuel oil [Crude oil products]	$1,154 \times 10^{-5}$
Natural gas free customer Portugal [Natural gas products]	$1,270 \times 10^{-2}$	$8,263 \times 10^{-3}$	$5,357 \times 10^{-2}$	Light fuel oil [Crude oil products]	$5,846 \times 10^{-4}$
Peat [Biomass fuels]	$2,472 \times 10^{-11}$	$1,609 \times 10^{-11}$	$2,019 \times 10^{-11}$	Natural gas free customer portugal [Natural gas products]	$1,628 \times 10^{-3}$
Wood [Biomass fuels]	$2,537 \times 10^{-6}$	$1,651 \times 10^{-6}$	$5,441 \times 10^{-5}$	Others [Non renewable energy resources]	$9,999 \times 10^{-5}$
				Power [Electric power]	$3,997 \times 10^{-3}$

Tabela B. 3. Energia eléctrica consumida na preparação de um tanque de pasta.

Equipamento	Tempo utilização (h)	Potência (kW)	Energia (kWh)
Diluidor-misturador	3	11	33
Tanque homogeneização	2	7,5	5
Tanque de stock	24	2,2	52,8
Tanque de retorno	5	11	55

Tabela B. 4. Consumo médio mensal de energia eléctrica na iluminação.

Nº armaduras	Lâmpadas	Nº total lâmpadas	Consumo de energia eléctrica (kWh/mês)
2	1 x TL-D 58 W	2	20,88
63	2 x TL-D 58 W	126	1322,40
20	2 x TL-D 36 W	40	280,80
2	2 x TL-D 18 W	4	113,76
3	holofotes	3	100,00
		Total	1852,24

Anexo C – Balanço de energia à caldeira de condensação

C.1. Balanço mássico

O balanço mássico do processo de combustão que tem lugar na caldeira de condensação traduz o princípio da conservação de massa, ou seja, em estado estacionário pode apresentar-se a equação simplificada:

$$\left[\begin{array}{c} \text{Gás natural} \\ + \\ \text{Ar} \end{array} \right] = [\text{Gases de combustão}] \quad (\text{Eq. C. 1})$$

Devido à complexa série de reacções químicas que têm lugar a conversão nunca é completa. O combustível e o comburente (ar) não apresentam uma distribuição uniforme, originando-se resistências à transferência de calor e de massa que fazem com que a reacção de combustão seja incompleta. De modo a compensar o efeito dos fenómenos referidos, a caldeira trabalha com excesso de ar relativamente à estequiometria.

O balanço mássico consiste fundamentalmente em calcular, em estado estacionário e para um dado conjunto de condições operatórias nomeadamente de composição elementar do gás natural, do excesso de ar e da quantidade dos gases de combustão.

O balanço mássico não prevê como se deverá distribuir o ar de combustão entre o ar primário e secundário, embora permita determinar qual a quantidade de ar globalmente necessário. Para o efeito da combustão ao ar importa considerar a composição elementar ponderal (fracção mássica) elementar CHON do gás natural, $w_{j,G}$ (kg elemento j /kg gás natural seco).

Considera-se como condição de referência para o balanço mássico e energético $T^0 = 25^\circ\text{C}$, e água na forma de vapor.

C.1.2. Composição ponderal elementar do gás natural

A composição do combustível diz respeito ao teor ponderal dos vários elementos químicos que compõem a fracção orgânica ($w_{C,G}$, $w_{H,G}$, $w_{O,G}$, $w_{N,G}$) e pode ser calculada a partir da fracção molar de cada componente na mistura de hidrocarbonetos, $y_{i,G}$:

$$w_{j,G} = \frac{\sum v_{ij} \times y_{i,G} \times M_j}{\sum y_{i,G} \times M_i} = \frac{\sum v_{ij} \times y_{i,G} \times M_j}{M_G}, j = \text{C,H,O,N} \quad (\text{Eq. C. 2.})$$

O gás natural de Magreb recebido pela empresa apresenta a composição média de referência apresentada na tabela C.1.

Tabela C. 1. Composição molar do gás natural distribuído à empresa.

Constituintes (<i>i</i>)	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀	C ₅ H ₁₂	C ₆ H ₁₄	N ₂	CO ₂
$y_{i,G}$ (kmol _i /kmol _G)	0,84339	0,09645	0,02009	0,00411	0,00058	0,00023	0,01957	0,01553
M_i (kg/kmol)	16	30	44	58	72	86	28	44

Assim, a tabela C.2 mostra a composição elementar ponderal obtida para o gás natural.

Tabela C. 2. Composição elementar ponderal (fracção mássica) CHNO do gás natural.

Composição elementar (<i>j</i>)	M_j (kg/kmol)	v_{CH_4}	$v_{C_2H_6}$	$v_{C_3H_8}$	$v_{C_4H_{10}}$	$v_{C_5H_{12}}$	$v_{C_6H_{14}}$	v_{N_2}	v_{CO_2}	$w_{j,G}$ (kg _j /kg _G)
C	12	1	2	3	4	5	6	--	1	0,721
H	1	4	6	8	10	12	14	--	--	0,221
N	14	--	--	--	--	--	--	2	--	0,029
O	16	--	--	--	--	--	--	--	2	0,026

C.1.3. Composição do ar de combustão

O ar admitido à combustão é caracterizado por uma dada temperatura (*T*) e humidade relativa (*Hr*).

Pela forma como é desenvolvida a equação do balanço mássico é conveniente mencionar a composição do ar (*A*) por kmol_{O₂}, ou seja:

$$O_2 = 1 \text{ (kmol}_{O_2}\text{/kmol}_{O_2}) \quad (\text{Eq. C.1})$$

$$N_2 = \frac{1 - y_{O_2A}}{y_{O_2A}} = 3,76 \text{ (kmol}_{N_2}\text{/kmol}_{O_2}) \quad (\text{Eq. C.2})$$

$$H_2O = \frac{W_{VA} \times \left(1/y_{O_2A}\right) \times (\sum y_{iA} \times M_i)}{18} = 7,66 \times W_{VA} \text{ (kmol}_{H_2O}\text{/kmol}_{O_2}) \quad (\text{Eq. C.3})$$

em que

- y_{iA} é a fracção molar do componente *i* do ar de combustão (kmol_i/kmol_{ar seco A}),
- W_{VA} é a razão mássica de vapor no ar de combustão (kmol_{H₂O}/kmol_{O₂}) que, sendo

função de T e da humidade é determinada pelo diagrama psicométrico.

C.1.4. Excesso de ar (Z)

De modo a garantir a não produção de inqueimados é necessário estabelecer uma relação ar/gás natural para além das quantidades estequiométricas. Esta é uma importante variável operacional e denomina-se de excesso de ar. A caldeira de condensação está afinada para um excesso de ar (Z) de 35 %. Segundo a equação,

(Eq. C.4)

$$Z = \frac{W_a \left(\text{kg}_{\text{O}_2\text{actual}}/\text{kg}_G \right)}{W_s \left(\text{kg}_{\text{O}_2\text{estequiométrico}}/\text{kg}_G \right)} - 1$$

C.1.4.1. Necessidades estequiométricas de O₂, W_s

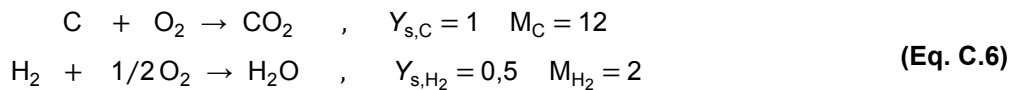
As necessidades estequiométricas de ar de combustão para o gás natural calculam-se por

$$W_s = 32 \times \left[\sum \left(\frac{Y_{s,j} \times w_{j,G}}{M_j} \right) - \frac{w_{\text{O}_2,G}}{32} \right] \quad (\text{Eq. C.5})$$

em que

- M_j representa a massa molecular de (kg elemento j/kmol elemento j),
- Y_{s,j} representa o consumo estequiométrico de oxigénio (kmol O₂/kmol elemento j),

tendo em conta as necessidades de oxigénio necessário para oxidar o elemento j, dados por



A tabela C.3 apresenta as necessidades estequiométricas de oxigénio, W_s e actuais W_a calculadas.

Tabela C. 3. Necessidades estequiométricas de O₂ (W_s), e necessidades actuais de O₂, (W_a).

W _s (kg _{O₂ esteq.} /kg _G)	W _a (kg _{O₂ actual.} /kg _G)
3,66	4,95

C.1.4.2. Composição dos produtos gasosos, $n_{i,G}$

Os gases de combustão são essencialmente constituídos por CO₂, O₂, N₂ e H₂O proveniente da combustão.

A base de cálculo do balanço mássico elementar (kg elemento j/kg de gás natural em base seca) é dada por

Carbono

$$\frac{w_{C,G}}{12} = n_{CO_2,G} \left(\frac{\text{kmol}_{CO_2}}{\text{kg}_G} \right) \quad (\text{Eq. C.7.})$$

Hidrogénio

$$\frac{w_{H,G}}{2} + \frac{W_a}{32} \times W_{VA} \times 7,66 = n_{H_2O,G} \left(\frac{\text{kmol}_{H_2O}}{\text{kg}_G} \right) \quad (\text{Eq. C.8})$$

Azoto

$$\frac{w_{N,G}}{28} + \frac{W_a}{32} \times 3,76 = n_{N_2,G} \left(\frac{\text{kmol}_{N_2}}{\text{kg}_G} \right) \quad (\text{Eq. C.9})$$

Oxigénio

$$\frac{w_{O,G}}{32} + \frac{W_a}{32} \times [1 + 0,5 \times W_{VA} \times 7,66] = n_{CO_2,G} + \frac{n_{H_2O,G}}{2} + n_{CO_2,G} \left(\frac{\text{kmol}_{O_2}}{\text{kg}_G} \right) \quad (\text{Eq. C.10})$$

Assim, a tabela C.4 reúne a composição dos produtos gasosos resultantes da combustão.

Tabela C. 4. Balanço de massa, isto é, composição dos produtos gasosos: CO₂, H₂O, N₂ e O₂.

$n_{CO_2,G} \left(\frac{\text{kmol}_{CO_2}}{\text{kg}_G} \right)$	$n_{H_2O,G} \left(\frac{\text{kmol}_{H_2O}}{\text{kg}_G} \right)$	$n_{N_2,G} \left(\frac{\text{kmol}_{N_2}}{\text{kg}_G} \right)$	$n_{CO_2,G} \left(\frac{\text{kmol}_{O_2}}{\text{kg}_G} \right)$
0,060	0,123	0,582	0,040

O balanço mássico descrito, apesar de apresentar uma forma simplificada, uma vez que não descreve o aparecimento das espécies menores e que dizem respeito aos poluentes emitidos (por exemplo, o SO₂), apresenta bastante interesse sob o ponto de vista operacional, na medida em que é suficientemente rigoroso para analisar o desempenho da caldeira em relação às condições operacionais, a partir da análise da composição dos principais produtos gasosos à saída.

C.2. Balanço energético

O balanço de energia traduz o princípio geral de conservação de energia que estabelece que a energia não pode ser criada nem destruída apenas pode ser convertida noutra forma de energia. Comummente, desprezam-se os termos correspondentes à variação de energia cinética, potencial e de superfície. Assim, em estado estacionário,

$$\left[\begin{array}{c} \text{Energia gás natural} \\ + \\ \text{Energia ar} \end{array} \right] = [\text{Energia gases de combustão}] + \left[\begin{array}{c} \text{Energia útil} \\ + \\ \text{Energia perdida} \end{array} \right] \quad (\text{Eq. C.11})$$

$$\Delta H_{\text{reagentes}} = \Delta H_{\text{produtos}} + \Delta H_{\text{útil}} + \Delta H_{\text{perdido}} \quad (\text{Eq. C.12})$$

$$\Delta H_{s,G} + \Delta H_{s,r} = (\Delta H_{s,p,G} + \Delta H_{l,G}) + \Delta H_{\text{útil}} + \Delta H_{\text{perdido}} \quad (\text{Eq. C.13})$$

C.2.1. Reagentes

A energia dos reagentes refere-se à energia presente no combustível e no ar admitido.

C.2.1.1. Calor sensível inerente à mistura ar/gás natural, $\Delta H_{s,G}$

O calor sensível da mistura ar/gás natural refere-se à energia térmica transportada pelo combustível e pelo ar de combustão devido ao facto de se apresentarem a uma temperatura diferente da temperatura de referência (T^0) ou seja,

$$\begin{aligned} \Delta H_{s,G} \left(\frac{\text{MJ}}{\text{dia}} \right) = & \{ 1 \times \overline{cp}_G \times (T_G - T^0) + W_a \\ & \times \{ \overline{cp}_{O_2} + 3,31 \times \overline{cp}_{N_2} + 4,31 \times W_{VA} \times \overline{cp}_{H_2O(g)} \} \times (T_A - T^0) \} \times \dot{V}_G \\ & \times \rho_G \end{aligned} \quad (\text{Eq. C.14})$$

em que

- W_{VA} e W_a foram definidos no balanço mássico,
- T_G é a temperatura do gás natural,
- T_A é a temperatura do ar de combustão,
- \overline{cp}_i (J/kg.K) é a capacidade calorífica média entre T_A e T^0 .

A tabela C.5 reúne os dados necessários para o cálculo do calor sensível.

Tabela C. 5. Valores necessários ao cálculo do calor sensível dos reagentes (energia transportada pelo gás natural e pelo ar de combustão).

\overline{cp}_i (J/kg.K)								
T_G (°C)	T_A (°C)	T^0 (°C)	\overline{cp}_{O_2}	\overline{cp}_{N_2}	\overline{cp}_{H_2O}	\overline{cp}_G	W_{VA} (kg _{H₂O} /kg _{ar seco})	Hr (%)
13,87	26,5	25,00	913	1038	1855	2200	0,0172	40

C.2.1.2. Calor de reacção de combustão do combustível, $\Delta H_{s,r}$

O calor de reacção do combustível refere-se ao calor de combustão do gás natural (J/kg mistura gás natural em base seca) tendo água no estado de vapor como produto, isto é, diz respeito ao poder calorífico inferior (PCI) do combustível em questão, considerando, também o caudal volúmico médio de gás natural consumido por dia, \dot{V}_G .

$$\Delta H_{s,r} \left(\frac{\text{MJ}}{\text{dia}} \right) = \text{PCI}_G \times \dot{V}_G \quad (\text{Eq. C.15})$$

A tabela C.6 contempla os valores necessários para o cálculo do calor de reacção do combustível.

Tabela C. 6. Valores necessários ao cálculo do calor de reacção do gás natural.

PCI_G (MJ/kg _G)	\dot{V}_G (m ³ /dia)	ρ_G (kg/m ³)
46,14	71,77	0,8437

C.2.2. Produtos

A energia dos produtos diz respeito à energia dos gases produzidos pela combustão.

C.2.2.1. Calor sensível dos gases de combustão, $\Delta H_{s,p,G}$

O calor sensível dos gases produzidos pela combustão é determinado por

$$\Delta H_{s,p,G} \left(\frac{\text{MJ}}{\text{dia}} \right) = \left[\sum (n_{i,G} \times M_i \times \overline{cp}_i) \right] \times (T_2 - T^0) \times \dot{V}_G \times \rho_G \quad (\text{Eq. C.16})$$

com $i = \text{CO}_2, \text{H}_2\text{O}, \text{N}_2, \text{O}_2$, e $n_{i,G}$, dados pelo balanço mássico e onde

- T_2 é temperatura dos gases de exaustão,
- $\bar{c}p_i$ (J/kg.K) é a capacidade calorífica média entre T_2 e T^0 do composto i .

C.2.2.2. Calor latente dos gases de combustão, $\Delta H_{l,G}$

O calor latente dos gases de combustão é determinado por

$$\Delta H_{l,G} \left(\frac{\text{MJ}}{\text{dia}} \right) = m_w \times h_{fg,\text{H}_2\text{O},T^0} \quad (\text{Eq. C. 17})$$

em que

- $h_{fg,\text{H}_2\text{O},T^0}$ (MJ/kg_{vapor}) representa a entalpia de vaporização da água no estado de vapor à temperatura T^0 ,
- m_w (kg_{H₂O}/kg_G) representa o vapor de água que resulta da oxidação do hidrogénio do gás natural e é calculado pela seguinte equação:

$$m_w = w_{\text{H},G} \times \frac{18}{2} \left(\frac{\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}}{\text{kg}_G} \right) \quad (\text{Eq. C. 18})$$

A tabela C.7 congrega valores necessários ao cálculo do calor sensível dos produtos (energia transportada gases de combustão) e ao cálculo do calor latente recuperado por condensação.

Tabela C. 7. Valores para o cálculo do $\Delta H_{s,p,G}$ e do $\Delta H_{l,G}$, respectivamente.

$\Delta H_{s,p,G}$				$\Delta H_{l,G}$	
T_2 (°C)	$\bar{c}p_{\text{CO}_2}$ (J/kg.K)	$\bar{c}p_{\text{O}_2}$ (J/kg.K)	$\bar{c}p_{\text{H}_2\text{O}}$ (J/kg.K)	$h_{fg,\text{H}_2\text{O},T^0}$ (MJ/kg _{vapor})	m_w (kg _{H₂O} /kg _G)
53,0	844	917	1859	2,44	1,99

A temperatura dos gases de exaustão (T_2) foi medida através de um analisador de gases, como se pode observar pela figura C.1.


```

-----
Testo t350 XL      1
      Testo t350 XL
SN: 01170819 /E
-----
universidade de avei
energia
-----
Caldeira
07.07.09      13:53:20

Fuel: NaturalGas
-----
53.0      °C Flue temp.
-----
m/s Speed
-----
m³/s Volume flow
5.24      % Oxygen
8.93      % CO2
-----
PPM NO
0.0      % CO
99.3      % Flue
-----
3.0      % O2ref
26.5      °C Amb. temp.
1.3      ppm NO2
1      ppm SO2
53.0      °C Dewpoint
1.14      l/m Pump flow
-----
°C T1 temp.
-----
°C T2 temp.
-----
°C Diff temp.
23.9      °C Device temp.
8.5      V Accu voltage
n 7
-----
Heat carrier in: --- °C
-----
obrigado

```

Fig. C. 1. Valores experimentais, referentes à caldeira de condensação, obtidos pelo analisador de gases.

C.2.2.3. Perdas de calor através das paredes, $\Delta H_{\text{perdido}}$

A energia perdida, por convecção, radiação e condução, num sistema de combustão inclui a energia associada com os gases de exaustão ao deixar o sistema de combustão e o calor perdido através das paredes exteriores. Nas caldeiras com a envolvente externa a menos de 80 °C é exequível assumir, no limite, que 2 % da energia introduzida, $\Delta H_{\text{reagentes}}$, energia dos reagentes, é dissipada para o meio envolvente. A seguinte equação permite calcular o

$$\Delta H_{\text{perdido}} \left(\frac{\text{MJ}}{\text{dia}} \right) = 0,02 \times (\Delta H_{\text{s,G}} + \Delta H_{\text{s,r}}) \quad (\text{Eq. C. 19})$$

C.3. Resultados do balanço de energia

Através a metodologia anteriormente explicitada, calcularam-se:

- o calor sensível, o calor de reacção e o calor total associado aos reagentes;
- o calor sensível, o calor latente recuperado por condensação e o calor total associado aos produtos;
- o calor dissipado para o meio ambiente;
- o calor útil;

conforme se pode observar na tabela C.8.

Tabela C. 8. Resultados do balanço energético.

Reagentes (MJ/dia)			Produtos (MJ/dia)			Perdas (MJ/dia)	Útil (MJ/dia)
$\Delta H_{s,G}$	$\Delta H_{s,r}$	$\Delta H_{reagentes}$	$\Delta H_{s,G}$	$\Delta H_{l,G}$	$\Delta H_{produtos}$	$\Delta H_{perdido}$	$\Delta H_{útil}$
0,53	2794,00	2794,53	41,89	293,74	335,63	55,89	2403,01

C.4. Eficiência de conversão na caldeira (η)

A eficiência de conversão diz respeito à fracção da energia útil em relação à energia total introduzida no sistema e pode ser calculado mediante a aplicação da equação:

$$\eta = \frac{\Delta H_{reagentes} - (\Delta H_{produtos} + \Delta H_{perdido})}{\Delta H_{reagentes}} \quad (\text{Eq. C. 20})$$

Determinou-se, assim, uma eficiência de conversão térmica da caldeira de condensação de 86 %.

C.5. Cálculo do volume de água que circula no enchimento para a conformação peça cerâmica (V_{H_2O})

A equação abaixo apresentada permite calcular caudal médio de água (m^3/dia) atendendo a que o $T_{out} = 60\text{ }^\circ\text{C}$ representa a temperatura da água de alimentação às bancadas e o $T_{in} = 43\text{ }^\circ\text{C}$ a temperatura da água de retorno à qual a caldeira de condensação começa a laborar.

$$\dot{V}_{H_2O} = \frac{\eta \times \dot{V}_G \times PCI_G}{cp_{H_2O} \times (T_{out} - T_{in})} \quad (\text{Eq. C. 21})$$

onde

- \dot{V}_{H_2O} diz respeito ao caudal médio de água que circula durante um dia na bancada de enchimento,
- η representa a eficiência de conversão na caldeira de condensação,
- \dot{V}_G é o caudal volúmico médio diário de gás natural consumido,
- PCI_G diz respeito ao poder calorífico inferior de gás natura,
- c_{H_2O} representa a capacidade calorífica específica da água,
- T_{out} e T_{in} representam as temperaturas da água à saída e à entrada da tubagem, respectivamente.

O \dot{V}_G (m³/dia) foi determinado pela média aritmética dos consumos diários registados na caldeira conforme ilustrado na figura C.2.

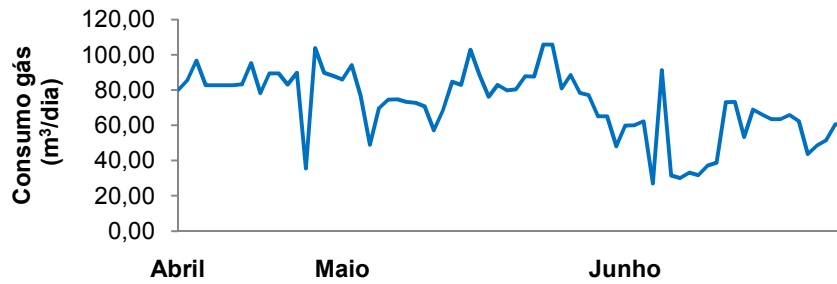


Fig. C. 2. Consumos de gás natural o dia 13 de Abril até ao dia 28 de Junho de 2009.

Como já referido, arrogou-se que a caldeira apresenta um consumo de gás natural uniforme ao longo de 24 h. Sabendo que a empresa trabalha com 40 moldes numa bancada, isto é, a massa total de peças conformadas, $m_{total, peças conformadas}$, é igual a 29,893 kg, que estas permanecem cerca de 1 hora cada ($t_{conformação}$) e que cada peça conformada e desmoldada pesa, em média, 0,747 kg ($m_{peça, conformada}$) e que a caldeira apresenta um consumo de gás natural uniforme ao longo de 24 h, calculou-se o volume de água inerente à conformação da peça (V_{H_2O}) mediante a utilização da seguinte equação:

$$V_{H_2O} = \frac{\dot{V}_{H_2O} \times t_{conformação} \times m_{peça, conformada}}{n^{\circ} bancadas \times m_{total, peças conformadas}} \quad (\text{Eq. C. 22})$$

A tabela C.9 apresenta os caudais de água calculados.

Tabela C. 9. Caudal de água que circula na bancada para a conformação da peça (V_{H_2O}).

$\dot{V}_{H_2O} (m^3/dia)$	$\dot{V}_{H_2O} (m^3/h)$	$V_{H_2O}(m^3)$
34,23	1,43	0,00191

Anexo D – Monitorização do consumo de energia eléctrica numa cozedura de vidro

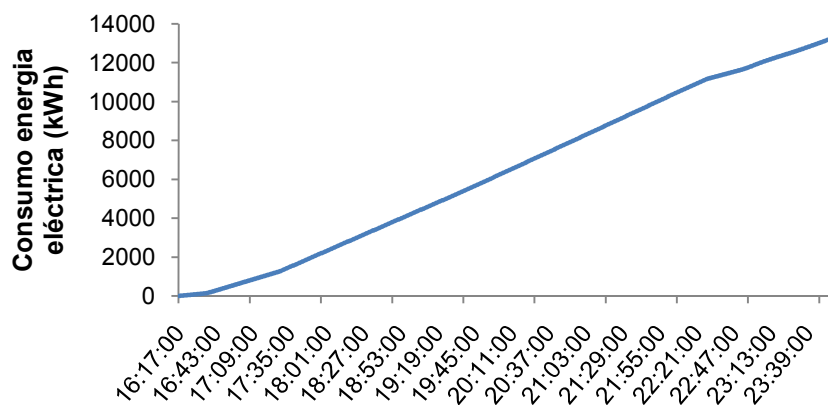


Fig. D. 1. Consumo de energia eléctrica numa cozedura de vidro.

Anexo E – Planos elaborados no Gabi 4.3

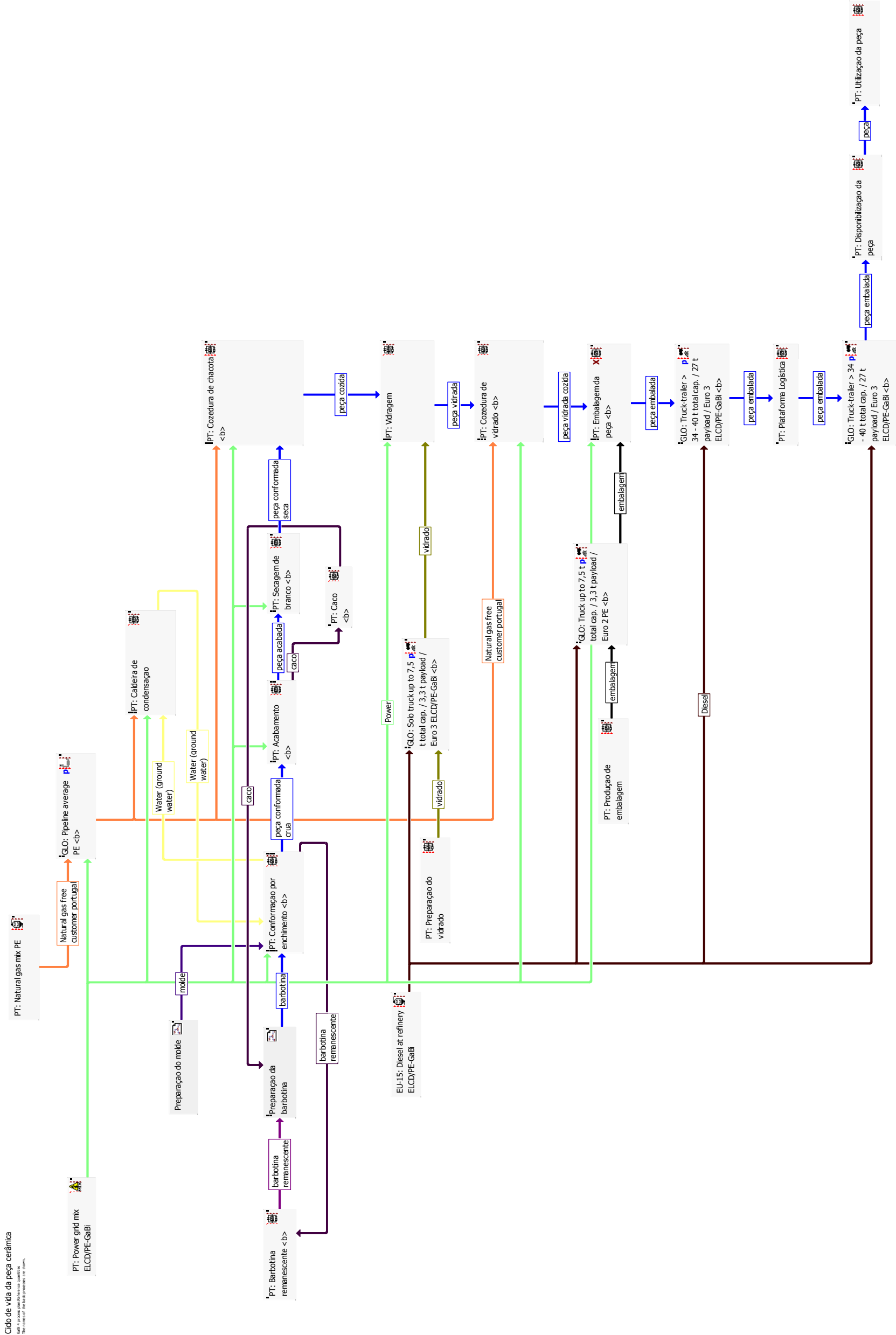


Fig. E. 1. Ciclo de vida da peça cerâmica.

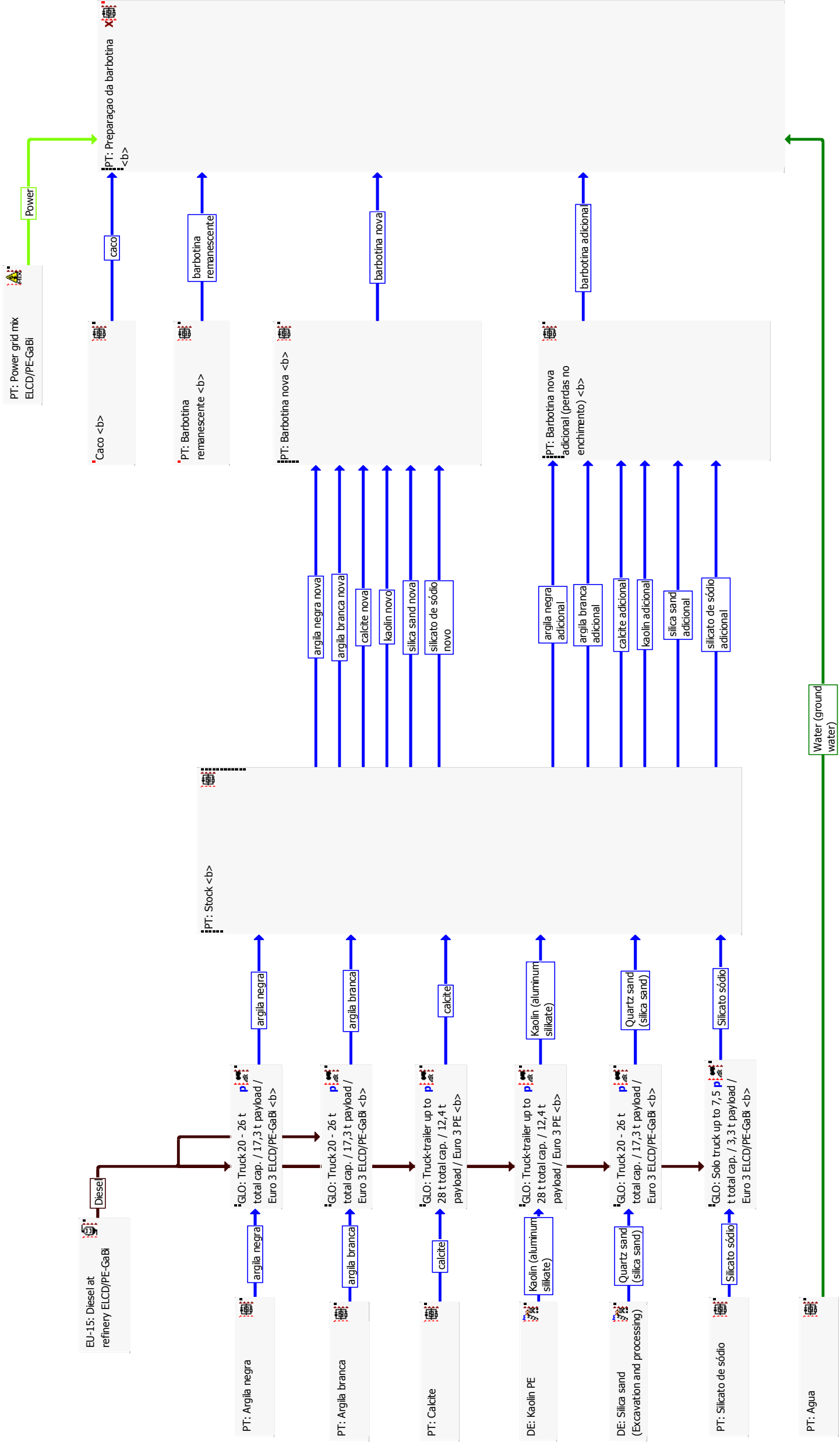


Fig. E. 2. Preparação da barbotina.

Preparação do molde

GaBi 4 process plan: Mass [kg]
The names of the basic processes are shown.

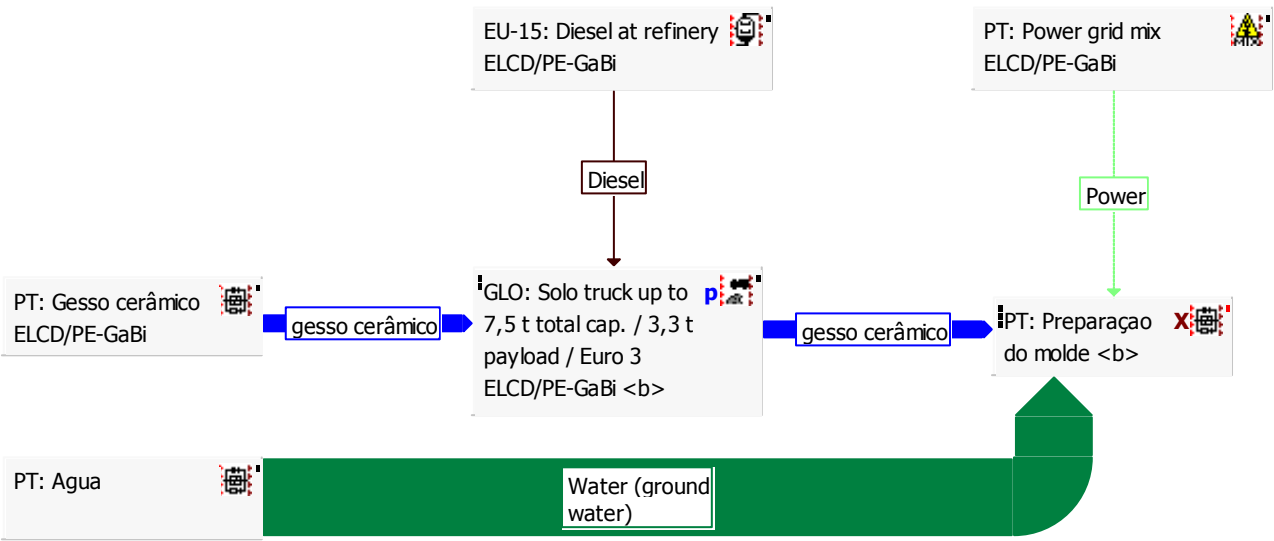


Fig. E. 3. Preparação do molde.